

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

٢١١

کاربرد علوم در قبله‌یابی نگرشی نو در تعیین قبله

نوشته

ماشاءالله علی‌احیائی



مؤسسه انتشارات امیرکبیر
تهران، ۱۳۶۷



علی احیائی، ماشاءالله
کاربرد علوم در قبله‌یابی نگرشی نو در تعیین قبله
چاپ اول، ۱۳۶۷
چاپ و صحافی چاپخانه سپهر تهران
تیراژ: ۳۳۰۰ نسخه
حق چاپ محفوظ است

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
۱۷	پیشگفتار
۲۱	فصل اول — طول و عرض جغرافیایی .
۲۱	۱ — تعریف طول و عرض جغرافیایی.
۲۳	۲ — تعیین عرض جغرافیایی.
۲۵	۱ — ۲ — تعیین عرض جغرافیایی با استفاده از وسایل ساده.
۳۰	۲ — ۲ — تعیین عرض جغرافیایی از روی نقشه.
۳۲	۳ — ۲ — تعیین عرض جغرافیایی با اندازه گیری ارتفاع ستاره قطبی.
۳۲	۴ — ۲ — تعیین عرض جغرافیایی با اندازه گیری ارتفاع خورشید و یا یک ستاره در لحظه عبور از نصف النهار محل.
۳۳	۵ — ۲ — تعیین عرض جغرافیایی از روی رصد دو ستاره، که در دو طرف سمت الرأس ناظر قرار دارند، در لحظه عبور از نصف النهار محل.
۳۳	۶ — ۲ — تعیین عرض جغرافیایی با اندازه گیری ارتفاع نصف النهاری یک ستاره در حین گذر زیرین و زبرین.
۳۴	۷ — ۲ — تعیین عرض جغرافیایی با رصد خورشید و یا یک ستاره در هر وضعیتی.
۳۴	۸ — ۲ — تعیین عرض جغرافیایی با رصد یک ستاره در حین عبور از سطح نصف النهار اصلی.
۳۴	۹ — ۲ — تعیین عرض جغرافیایی با اندازه گیری ارتفاع حول نصف النهاری خورشید و یا یک ستاره.

- ۳- عرض جغرافیایی و عرض زمین مرکزی. ۳۵
- ۴- تغییرات عرض جغرافیایی. ۳۷
- ۵- تعیین طول جغرافیایی. ۴۰
- ۱-۵- تعیین طول جغرافیایی در نقطه‌ای ناشناخته و دوردست. ۴۲
- ۲-۵- تعیین طول جغرافیایی از روی نقشه. ۴۵
- ۳-۵- تعیین طول جغرافیایی از طریق اندازه‌گیری وقت نجومی. ۴۷
- ۴-۵- تعیین طول جغرافیایی از طریق حمل و نقل یک زمان‌سنج. ۴۸
- ۵-۵- تعیین طول جغرافیایی بوسیله تلگراف. ۴۹
- ۶-۵- تعیین طول جغرافیایی بوسیله بی‌سیم. ۴۹
- ۷-۵- تعیین طول جغرافیایی از طریق رصد ماه و ستاره‌ای که از نصف النهار یک محل به صورت تقریباً همزمان می‌گذرند. ۴۹
- ۸-۵- تعیین طول جغرافیایی از طریق رصد علایم فلکی. ۵۰
- ۹-۵- تعیین طول جغرافیایی از طریق فواصل ماه. ۵۰

فصل دوم - جهت‌یابی - تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی. ۵۱

- ۱- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با مشخص کردن دو ارتفاع برابر خورشید در صبح و بعدازظهر (روش دایره هندی). ۵۴
- ۲- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی از راه تعیین لحظه ظهر خورشیدی. ۵۵
- ۳- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با مشخص کردن کوتاهترین طول سایه یک میله قائم. ۵۷
- ۴- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از قطب‌نما. ۶۱
- ۵- جهت‌یابی تقریبی از طریق استفاده از ساعت. ۶۷
- ۶- جهت‌یابی تقریبی با تعیین سمت آفتاب‌زده تنه درختان (روش دهقانان). ۶۹
- ۷- جهت‌یابی از طریق یافتن ستاره قطبی در نیمکره شمالی و صورت

- ۷۰ فلکی صلیب جنوبی در نیمکره جنوبی.
- ۹۰ ۸- جهت یابی به وسیله ماه.
- ۹۱ ۹- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی از راه محاسبه سمت خورشید.
- ۱۰- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در لحظه عبور خورشید از
۹۶ سطح نصف النهار اصلی.
- ۱۱- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از سایه یک
۹۹ صفحه دایره‌ای شکل.
- ۱۲- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، با استفاده از ساعت‌های
۱۰۳ خورشیدی.
- ۱۳- تعیین امتداد قطب سماوی با رصد یک ستاره در ارتفاع‌های برابر. ۱۰۵
- ۱۴- تعیین امتداد قطب سماوی با رصد یک ستاره دور قطبی در وضعیت
۱۰۶ دورترین فاصله از نصف النهار سماوی مکان.
- ۱۵- تعیین امتداد نصف النهار سماوی از راه تعیین زاویه ساعتی خورشید
و یا یک ستاره. ۱۰۸
- ۱۶- تعیین امتداد نصف النهار سماوی از راه رصد ستاره قطبی و یا یک
ستاره نزدیک به قطب. ۱۰۸
- ۱۷- تعیین امتداد نصف النهار سماوی از راه رصد خورشید و یا یک
ستاره در وضعیت خارج از نصف النهار. ۱۰۹
- ۱۸- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با وسایل ژيروسکوپ. ۱۱۰
- ۱۱۱ فصل سوم - جهت یابی با ساعت‌های خورشیدی.
- ۱۱۱ ۱- درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی افقی.
- ۱۱۳ ۱-۱- روش ترسیمی.
- ۱۱۵ ۱-۲- روش محاسباتی.
- ۱۱۹ ۲- درجه بندی ساعت خورشیدی از نوع سمتی ارتفاعی.
- ۱۲۲ ۳- تعیین نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی با مرکز متغیر.

- ۱-۳- تعیین نقاط درجه بندی ساعت خورشیدی آنالوماتیک. ۱۲۲
- ۱-۱-۳- روش ترسیم. ۱۲۲
- ۲-۱-۳- روش محاسبه. ۱۲۴
- ۳-۱-۳- طریقه رسم بیضی. ۱۲۸
- ۲-۳- تعیین نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی لامبرت. ۱۳۰
- ۱-۲-۳- روش ترسیم. ۱۳۰
- ۲-۲-۳- روش محاسباتی. ۱۳۲
- ۴- درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی ارتفاعی اقی. ۱۳۳
- ۱-۴- روش ترسیم. ۱۳۳
- ۲-۴- روش محاسباتی. ۱۳۶
- ۵- ساخت قطب نمای خورشیدی با استفاده از دو ساعت خورشیدی. ۱۳۶
- ۶- بکاربردن یک ساعت خورشیدی به عنوان جهت یاب خورشیدی. ۱۴۱
- ۷- بکاربردن کرومتر خورشیدی به عنوان جهت یاب خورشیدی. ۱۴۱

- فصل چهارم - حل چند مثال در مثلثات کروی. ۱۴۴
- ۱- دایره عظیمه. ۱۴۴
- ۲- زاویه کروی. ۱۴۶
- ۳- مثلث کروی. ۱۴۶
- ۴- خواص مثلث کروی. ۱۴۷
- ۵- فرمولهای یک مثلث کروی. ۱۴۹
- ۶- مثلث کروی قائم الزاویه. ۱۵۱
- ۷- کاربرد بعضی از فرمولهای مثلثات کروی. ۱۵۲
- مثال (۱-۴). ۱۵۲
- مثال (۲-۴). ۱۵۳
- مثال (۳-۴). ۱۵۶
- مثال (۴-۴). ۱۵۶

مثال (۴-۵)

۱۶۱

مثال (۴-۶)

۱۶۲

فصل پنجم - روشهای قبله یابی .

۱۶۵

۱- قبله .

۱۶۵

۲- کعبه .

۱۶۶

۳- مگه .

۱۶۶

۴- مختصات جغرافیایی کعبه .

۱۶۷

۵- روشهای تعیین قبله .

۱۶۸

۱-۵- محاسبه جهت قبله با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی .

۱۶۹

مثال (۱-۵)، جهت قبله در تهران، روش محاسباتی .

۱۶۹

۲-۵- تعیین جهت قبله با روش ترسیمی

۱۷۴

مثال (۲-۵)، جهت قبله در تهران، روش ترسیمی .

۱۷۴

مثال (۳-۵)، جهت قبله در بمبئی، در هندوستان .

۱۷۹

مثال (۴-۵)، جهت قبله در صنعاء، در یمن .

۱۷۹

مثال (۵-۵)، جهت قبله در مانیل، در فیلیپین .

۱۸۰

مثال (۶-۵)، جهت قبله در خرطوم، در سودان .

۱۸۱

مثال (۷-۵)، جهت قبله در آتن، در یونان .

۱۸۲

مثال (۸-۵)، جهت قبله در استکهلم، در سوئد .

۱۸۴

مثال (۹-۵)، جهت قبله در سانفرانسیسکو، در آمریکای شمالی .

۱۸۵

مثال (۱۰-۵)، جهت قبله در بوگوتا، در کلمبیا .

۱۸۸

مثال (۱۱-۵)، جهت قبله در پرنامبوکو (رسایف)، در برزیل .

۱۸۹

مثال (۱۲-۵)، جهت قبله در آدلاید، در استرالیا .

۱۹۰

مثال (۱۳-۵)، جهت قبله در طرابوزان، در ترکیه .

۱۹۱

مثال (۱۴-۵)، جهت قبله در هانوئی، در ویتنام .

۱۹۲

۳-۵- خطای ناشی از اشتباه یک درجه در جهت قبله .

۱۹۶

- مثال (۵-۱۵)، اشتباه یک درجه در جهت قبله. ۱۹۶
- ۵-۴- تعیین امتداد قبله با استفاده از کره جغرافیایی. ۱۹۸
- ۵-۵- تعیین جهت قبله از راه سایه یک میله قائم و یا نخ یک شاقول در اوقات معین. ۱۹۹
- مثال (۵-۱۶). ۲۰۴
- مثال (۵-۱۷). ۲۰۵
- مثال (۵-۱۸). ۲۰۶
- ۵-۶- تعیین جهت قبله با استفاده از قبله‌نمای رزم‌آرا. ۲۰۸
- ۵-۷- تعیین جهت قبله در نقاط خاص. ۲۲۰
- ۱-۵-۷- تعیین جهت قبله در نقطه متقابل مکه بر روی زمین. ۲۲۲
- ۲-۵-۷- تعیین جهت قبله در نقاط قطب شمال و جنوب جغرافیایی. ۲۲۳
- مثال (۵-۱۹). ۲۳۶

فصل ششم - شرح پاره‌ای از اصطلاحات نجومی .

- ۱- کره سماوی. ۲۳۹
- ۲- سمت الرأس و سمت القدم. ۲۴۲
- ۳- افق سماوی. ۲۴۲
- ۴- قطبهای زمین و دایره استوای زمین. ۲۴۲
- ۵- قطبهای سماوی و محور سماوی ۲۴۴
- ۶- استوای سماوی. ۲۴۴
- ۷- مایل دریایی. ۲۴۵
- ۸- افق محسوس. ۲۴۵
- ۹- افق مریی. ۲۴۶
- ۱۰- شیب افق. ۲۴۶
- ۱۱- دایره ارتفاع. ۲۴۷
- ۱۲- نصف النهار سماوی. ۲۴۸

- ۲۴۸ ۱۳- سطح نصف النهار اصلی.
- ۲۴۸ ۱۴- جهت های شمال، جنوب، مغرب و مشرق واقعی.
- ۲۵۰ ۱۵- عرض جغرافیایی.
- ۲۵۰ ۱۶- متمم عرض جغرافیایی.
- ۲۵۰ ۱۷- طول جغرافیایی.
- ۲۵۰ ۱۸- ارتفاع.
- ۲۵۱ ۱۹- فاصله سمت الرأس.
- ۲۵۲ ۲۰- سمت.
- ۲۵۲ ۲۱- دایره میل و یا دایره ساعتی.
- ۲۵۳ ۲۲- میل.
- ۲۵۴ ۲۳- فاصله قطبی.
- ۲۵۴ ۲۴- زاویه ساعتی.
- ۲۵۵ ۲۵- دایره البروج.
- ۲۵۶ ۲۶- نقاط اعتدال.
- ۲۵۸ ۲۷- نقاط انقلاب.
- ۲۵۸ ۲۸- بُعد.
- ۲۵۹ ۲۹- دایره اعتدال.
- ۲۵۹ ۳۰- دایره انقلاب.
- ۲۶۰ ۳۱- زمین.
- ۲۶۱ ۳۲- دستگاه مختصات زمین.
- ۲۶۱ ۳۳- مناطق زمین.
- ۲۶۳ ۳۴- دستگاه های مختصات نجومی.
- ۲۶۵ ۱- ۳۴- دستگاه افقی.
- ۲۶۸ ۲- ۳۴- دستگاه استوایی مستقل.
- ۲۷۰ ۳- ۳۴- دستگاه استوایی وابسته.
- ۲۷۲ ۴- ۳۴- دستگاه عرض و طول سماوی.

۲۷۴	۵-۳۴- دستگاه کهکشانی.
	۶-۳۴- تبدیل مختصات نجومی از یک دستگاه مختصات به دستگاه دیگر.
۲۷۴	۳۵- مثلث نجومی.
۲۷۵	۳۶- ستارگان دور قطبی.
۲۷۶	۳۷- ستاره در حال عبور.
۲۷۸	۳۸- وضعیت دورترین فاصله یک ستاره.
۲۸۰	۳۹- وضعیت یک ستاره در سطح نصف النهار اصلی.
۲۸۲	۴۰- قرار گرفتن یک ستاره در افق.
۲۸۴	۴۱- قرار گرفتن ستاره در خارج از نصف النهار.
۲۸۴	۴۲- فاصله زاویه ای ستارگان.
۲۸۵	۴۳- فاصله زاویه ای ماه.
۲۸۵	۴۴- مقارنه.
۲۸۵	۴۵- مقابله.
۲۸۵	۴۶- خورشید.
۲۸۷	۴۷- حرکات ظاهری خورشید.
۲۸۸	۴۸- حرکت مداری زمین به دور خورشید.
۲۹۱	۴۹- فصول.
۲۹۴	۵۰- وضعیت های ظاهری خورشید در فصول مختلف.
۲۹۶	۵۱- تقویم نجومی دریاوردی
۲۹۷	۵۲- میل خورشید.
۲۹۹	۵۳- حرکت تقویمی (پرسیون) و رقص محوری.
۳۰۹	۵۴- تقویم.
۳۱۰	روز
۳۱۰	روز شمسی حقیقی (ظاهری).
۳۱۱	روز شمسی متوسط.

۳۱۱	روز نجومی.
۳۱۲	طول روز طبیعی.
۳۱۴	طول مدت بین الطلوعین.
۳۱۵	تقسیمات روز
۳۱۶	هفته.
۳۱۶	ماه.
۳۱۷	سال.
۳۱۸	سال برجی.
۳۱۸	سال نجومی.
۳۱۹	سال نوری.
۳۱۹	سال آنومالیستیک.
۳۲۰	انواع تقویم.
۳۲۰	تقویم قمری.
۳۲۱	تقویم قمری شمسی.
۳۲۱	تقویم شمسی.
۳۲۲	تقویم جولیوسی.
۳۲۳	تقویم گرگوری.
۳۲۵	۵۵- فازها و حالات ماه.
۳۲۸	۵۶- گرفت.
۳۳۶	۵۷- ستاره.
۳۳۷	۵۸- سیارات.
۳۴۱	۵۹- صورتهای فلکی.
۳۴۲	۶۰- منطقه البروج.
۳۴۵	۶۱- کهکشان.
۳۴۵	۶۲- کهکشان راه شیری.
۳۴۶	۶۳- عبور.

- ۳۴۷ ۶۴- سکستانان.
- ۳۴۷ ۶۵- تئودولیت.
- ۳۴۸ ۶۶- استرلاب.
- ۳۴۸ ۶۷- تصحیحات نجومی.
- ۳۴۸ ۱- تصحیح اختلاف منظر.
- ۳۵۱ ۲- تصحیح شکست نور.
- ۳۵۴ ۳- تصحیح شیب افق.
- ۳۵۶ ۴- تصحیح نیم قطر.
- ۳۶۰ ۶۸- خورشید نیمه شب.

- ۳۶۲ فصل هفتم- زمان.
- ۳۶۲ ۱- زمان.
- ۳۶۲ ۲- اندازه گیری و تعیین زمان.
- ۳۶۳ ۳- مقیاس های زمان.
- ۳۶۴ ۴- وقت نجومی.
- ۳۶۶ ۵- وقت نجومی محلی.
- ۳۷۰ ۶- وقت شمسی ظاهری (حقیقی).
- ۳۷۴ ۷- وقت ظاهری محلی.
- ۳۷۷ ۸- وقت متوسط.
- ۳۷۸ ۹- تبدیل فواصل زمانی شمسی متوسط به فواصل زمانی نجومی و برعکس.
- ۳۸۰ ۱۰- وقت متوسط محلی.
- ۳۸۱ ۱۱- وقت تقویمی و زمان اتمی.
- ۳۸۶ ۱۲- تعدیل زمان (معادله زمان).
- ۴۰۱ ۱۳- وقت استاندارد.
- ۴۰۴ ۱۴- وقت جهانی.
- ۴۰۵ ۱۵- نامگذاری و اصطلاحات مربوط به وقت در زندگی روزمره.

- ۴۰۵ ۱۶— تبدیل وقت شمسی ظاهری محلی به وقت شمسی استاندارد.
- ۴۰۷ ۱۷— جلو بردن ساعت به منظور استفاده بیشتر از روشنائی روز.

- ۴۰۹ فصل هشتم— شکل زمین
- ۴۰۹ ۱— کره.
- ۴۱۰ ۲— بیضوی.
- ۴۱۰ ۳— شبه کره.
- ۴۱۱ ۴— تاریخچه شکل زمین.
- ۴۱۷ ۵— سطوح مبنای ژئودتیک.
- ۴۱۷ ۵-۱— مختصات کروی.
- ۴۲۱ ۵-۲— مختصات ژئودتیک.
- ۴۲۸ ۵-۳— مختصات نجومی.
- ۴۲۸ سطح هم پتانسیل.
- ۴۲۹ شکل زمین گون (ژئوئید).
- ۴۳۱ سطح مبنای نجومی.

فصل نهم— یک برنامه تحقیقاتی بین المللی در مورد تعیین همزمان قبله در دنیا.

- ۴۳۷ ۱— اثر مختصات جغرافیایی مکه.
- ۴۳۸ ۲— امکان عبور خورشید از سمت الرأس مکه در لحظه ظهر خورشیدی
- ۴۳۸ ۳— مناطقی از زمین که می توان روش را بکار گرفت.
- ۴۳۹ ۴— اثر تصحیحات نجومی.
- ۴۴۵ ۵— اثر شکل زمین.
- ۴۴۵ ۶— پیشنهاد یک برنامه تحقیقات بین المللی.
- ۴۵۲ ۷— کاربرد اساس روش، در ژئودزی
- ۴۵۳ ۸— تذکر
- ۴۵۴

۴۵۵	فصل دهم — روش های ساده موجود در کتاب
۴۵۵	راهنمای استفاده از روشهای آسان کتاب در قبله یابی.
۴۵۵	۱— تعیین مختصات جغرافیایی محل.
۴۵۵	۲— تعیین مختصات جغرافیایی کعبه معظمه.
۴۵۵	۳— تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل.
۴۵۶	۴— تعیین قبله با روش ترسیمی.
۴۵۶	۵— تعیین جهت قبله با استفاده از سایه یک میله قائم در اوقات معین.
۴۵۶	۶— قبله نمای رزم آرا.
۴۵۶	۷— تعیین قبله با استفاده از یک کره جغرافیایی.
۴۵۷	فهرست منابع
۴۶۱	فهرست اعلام

تقدیم به مقام والای استاد و معلم و هر که مرا آموخت،

تقدیم به دانشجویان و دانش پژوهان

و تقدیم به تمام کسانی که در نشر دانش سهیم اند.

به نام خدا

پیشگفتار

مدتی پیش کتابی تحت عنوان جهت‌یابی و قبله‌یابی با روشهای آسان از طرف مؤسسه انتشارات امیرکبیر منتشر شد. موضوع جهت‌یابی و قبله‌یابی، با همه آسانی آن، حاوی نکات دقیق و قابل تأملی است که جمع کردن همه آنها در کتاب مذکور ممکن نبود، چه، بعنوان شروع کار می‌بایست فقط مطالب عمومی موضوع، مورد بررسی قرار می‌گرفت.

در کتاب حاضر، مسئله قبله‌یابی، با نگرشی نومورد بررسی قرار گرفته و کاربرد رشته‌های متعدد علوم در قبله‌یابی تشریح شده است.

بشر از قرن‌ها پیش، جهات را با استفاده از وضعیتهای خورشید تعیین می‌کرده و امروزه هم حرکات خورشید در جهت‌یابی، دارای اهمیتی اساسی است.

در زمان حاضر، بعلاوه کثرت تردد و مسافرت، موضوع جهت‌یابی، اهمیت بیشتری یافته است و وسایل دقیق فنی و مهندسی، در این مورد بکار گرفته می‌شود. علاوه بر جهات چهارگانه، جهت قبله نزد مسلمانان، بسیار مورد توجه بوده، شناخت آن در بیشتر مراسم دینی مورد نیاز است.

جهت قبله، در نحوه قرارگیری ساختمان مساجد، حایز اهمیت است؛ چنانکه همه می‌دانند، محراب تمام مساجد موجود در ممالک اسلامی و در سطح دنیا بسوی کعبه است. در سایر ابنیه و معماری اسلامی نیز جهت قبله یک جهت اساسی است. اهمیت موضوع قبله تا بدانجاست که در خانه هر مسلمانی، تعیین امتداد قبله از واجبات است.

با توجه به اهمیت موضوع، این کتاب به منظور بررسی دقیق مطلب قبله‌یابی، نوشته شده است و نیاز به تحقیق در مسئله را مطرح می‌سازد.

با وجود اهمیت موضوع قبله یابی، دیده می شود که بررسی مهمی در این خصوص صورت نگرفته و میزان دقت روشهای مورد استفاده، کاملاً تحت مطالعه دقیق علمی در نیامده است.

کتاب، با فصل طول و عرض جغرافیایی (فصل اول) آغاز می شود. دانستن مختصات جغرافیایی یک محل در تعیین جهت قبله آن، از نخستین اطلاعات واجب به شمار می آید. روشهای تعیین مختصات جغرافیایی در این فصل مورد امعان نظر قرار گرفته و چگونگی تعیین آنها با استفاده از نقشه و یا وسایل ساده، تشریح شده است.

دانستن جهت شمال و جنوب جغرافیایی در قبله یابی، از اطلاعات لازم دیگری است که جهت قبله، نسبت به آنها سنجیده می شود. جهت یابی و یا تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، در فصل دوم کتاب آمده است.

در فصل سوم، جهت یابی با استفاده از ساعت های خورشیدی، شرح داده شده است که این مطلب از نظر تاریخی اهمیت غیر قابل انکار دارد، چه مسلمین، قبل از اختراع قطب نماهای مغناطیسی، با استفاده از ترکیب دو نوع ساعت خورشیدی، جهت را بدست می آوردند.

با فرض کروی بودن شکل زمین، محاسبه زاویه جهت قبله، نسبت به امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، با استفاده از رابطه های مثلثات کروی میسر است. بدین منظور در فصل چهارم چند مثال در زمینه مثلثات کروی عنوان شده است. در حال حاضر با استفاده از ماشینهای حساب الکترونیکی، استفاده از فرمولهای مثلثات کروی بسیار ساده بوده، دیگر نیازی به محاسبات لگاریتمی نیست.

روشهای قبله یابی در فصل پنجم به تفصیل تشریح شده و در این مورد مثالهای متعددی ذکر گردیده است. در این فصل به بعضی از فعالیتهای انجام شده در موضوع قبله یابی در ایران، اشاره شده و در عین حال اساس روش تعیین جهت قبله از راه بدست آوردن سایه یک میله قائم و یا سایه نخ یک شاقول — دوبار در سال در اوقات معین — به تفصیل تشریح شده است.

شرح بعضی از اصطلاحات نجومی را در فصل ششم می خوانید؛ دانستن بعضی مطالب نجومی، در دانش قبله یابی مورد لزوم است و این فصل، خواننده را با اصطلاحات نجومی مورد نیاز آشنا می کند. بطوری که او بتواند با استفاده از فهرست اعلام پایان کتاب، شرح هر اصطلاحی را بسادگی بیابد.

موضوع زمان و وقت، مطلب دیگری است که در قبله یابی اهمیت فراوان دارد. لذا فصل هفتم به موضوع زمان اختصاص یافته و اصطلاحات و فرمولهای مورد لزوم تشریح شده است.

تا قرن هفدهم میلادی، زمین به شکل کره کامل انگاشته می شد؛ در نیمه

دوم قرن هفدهم، بیضوی شکل بودن زمین مطرح گردید؛ امروزه شکل واقعی زمین و ابعاد دقیق آن، از طریق مطالعات و بررسیهای ژئودتیکی، تعیین شده است، اما هنوز در محاسبات مربوط به قبله‌یابی، شکل زمین بصورت کره کامل فرض می‌شود و تا بحال اثر شکل زمین، در نتیجه محاسبات از راه کاربرد فرمولهای مثلثات کروی، مورد بررسی قرار نگرفته، لذا به همین منظور شکل زمین در فصل هشتم کتاب به بحث کشیده شده است.

فصل نهم به یک برنامه تحقیقات بین‌المللی در مورد قبله‌یابی اختصاص دارد. این تحقیقات با توجه به شکل واقعی زمین، اسری اجتناب‌ناپذیر است و امید می‌رود که توسط سازمانهای تحقیقاتی مورد توجه قرار گیرد.

چنانکه اشاره شد، روش تعیین قبله، با بدست آوردن امتداد سایه یک میله قائم و یا سایه نخ یک شاقول، دوبار در سال در اوقات معین میسر می‌گردد که چگونگی امر، در فصل پنجم تشریح شده است. البته روش مربوط، به گونه‌ای که تا بحال معمول بوده، فقط در بیشتر مناطق نیمکره شرقی کاربرد دارد. اما در فصل نهم، برای اولین بار روش کار در نیمکره غربی نیز ارائه شده و به عبارت دیگر کاربرد این روش چهار بار در سال است.

بالاخره در فصل دهم، چگونگی یافتن روشهای آسان قبله‌یابی بیان گردیده است. این فصل کوتاه، استفاده از کتاب را برای خوانندگانی که حوصله پرداختن به همه فصلهای آن را ندارند، آسان می‌سازد.

با توجه به مندرجات کتاب، مشاهده می‌شود که در امر قبله‌یابی، رشته‌های متعدد علوم، از قبیل: ریاضیات، نجوم، نقشه‌برداری، ژئودزی و غیره، مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ لذا با پیشرفت خارق‌العاده رشته‌های مختلف علوم در قرون اخیر، نگرشی نو، در امر قبله‌یابی اجتناب‌ناپذیر است. ناگفته نماند که در رابطه با مطلب قبله‌یابی، می‌بایست مسائل شرعی مربوطه را در نظر داشته و همیشه نظر مسئولین مربوطه در این مورد، ارجح است.

انجام یک کار صد در صد صحیح از عهده یک نفر بر نمی‌آید و قطعاً خوانندگان جستجوگر به لغزشهای چندی در این کتاب برخورد خواهند کرد. استدعایم این است که محبت فرموده، اشتباهات موجود و نظرات اصلاحی خود را به اطلاع مؤلف (تهران، صندوق پستی ۱۴۴۵۵/۳۹۱) برسانند که مزید بسی تشکر و امتنان خواهد بود.

ماشاء الله علی‌احیایی

تهران، شهریورماه ۱۳۶۳

طول و عرض جغرافیایی

برای پیدا کردن جهت قبله یک مکان می بایست طول و عرض جغرافیایی آن را بدانیم. لذا موضوع طول و عرض جغرافیایی را در این فصل مورد بررسی قرار می دهیم. همچنین در این فصل روشهای ساده ای برای تعیین طول و عرض جغرافیایی یک مکان، ارائه خواهد شد.

ممکن است خواننده به اصطلاحات نجومی مختلفی برخورد کند، در این صورت، با مراجعه به فهرست اعلام مندرج در پایان کتاب، می تواند تعاریف مربوط را که در فصل ششم کتاب، شرح داده شده است، بیابد.

۱. تعریف طول و عرض جغرافیایی

مختصات جغرافیایی یک نقطه بر روی کره زمین، با طول و عرض جغرافیایی تعیین می شود. عرض جغرافیایی، با حرف یونانی (φ) ^۱ و طول جغرافیایی (λ) ^۲ نشان داده می شود.

محور چرخشی زمین، قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی را مشخص کرده و از این مطلب، یک دستگاه مختصاتی که شرح آن در ذیل خواهد آمد، حاصل شده است. درست در حد وسط بین دو قطب جغرافیایی، دایره استوا^۳ در نظر گرفته می شود. دایره استوا دایره عظیمه ای است که کره زمین را به دو نیم کره شمالی و جنوبی^۴ تقسیم می کند. به موازات دایره استوا، دوائر صغیره ای، مابین دایره استوا و قطبهای جغرافیایی، در نظر گرفته می شود که مدارات^۵ نامیده می شوند. مدارات در حقیقت خطوط شرقی غربی سیستم مختصات مربوط هستند. دوائر عظیمه ای که از دو قطب جغرافیایی زمین

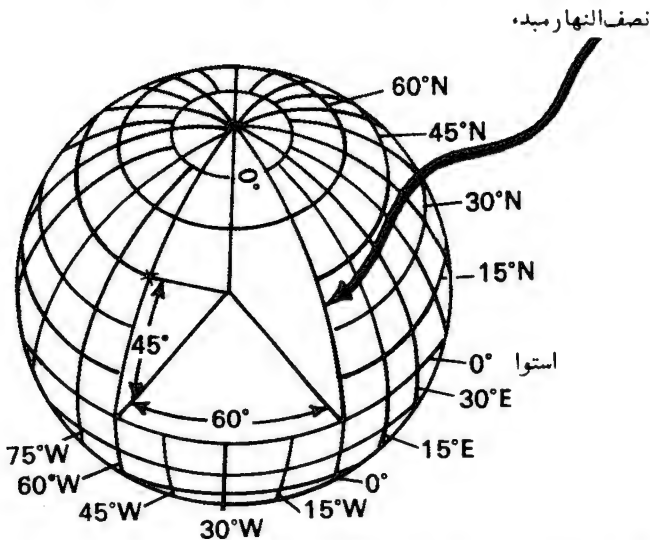
1. Phi 2. Lambda 3. Equator

4. Northern and Southern Hemisphere

5. Parallels of Latitude

می گذرند، تشکیل نصف النهارات^۱ را می دهند. این دوائر تشکیل دهنده خطوط شمالی جنوبی مختصاتند.

عرض جغرافیایی یک نقطه، با فاصله زاویه ای آن از دایره استوا، از صفر تا ۹۰ درجه بطرف شمال و یا جنوب بیان می شود. طول جغرافیایی یک نقطه، با فاصله زاویه ای که نصف النهار آن نقطه با نصف النهار مبده^۲ می سازد بیان می گردد. طبق موافقتنامه ای که در کنفرانس بین المللی، در مورد نصف النهار^۳، درواشنگتن دی سی^۴، در آمریکا در سال ۱۸۸۴، حاصل شد، نصف النهاری که بر محور نوری رصدخانه سلطنتی گرینیچ^۵ در انگلستان منطبق است بعنوان نصف النهار مبدا انتخاب شده. طول جغرافیایی، از صفر تا ۱۸۰ درجه نسبت به نصف النهار مبده، بطرف مشرق و یا مغرب بیان می گردد. بنابراین نصف النهار ۱۸۰ درجه شرقی و ۱۸۰ درجه غربی، برهم منطبق هستند. این نصف النهار در اقیانوس آرام^۶ قرار گرفته و به نام خط بین المللی تاریخ^۷ نامیده می شود؛ در مورد این نصف النهار در فصل هفتم، توضیح بیشتری داده شده است.



شکل (۱-۱) — نمایش طول و عرض جغرافیایی یک نقطه بر روی کره زمین، عرض جغرافیایی محل، نشانگر ۴۵° شمالی و طول جغرافیایی آن نیز ۶۰° غربی است.

1. Meridians of Longitude
2. Prime Meridian
3. International Meridian Conference
4. Washington D. C.
5. Royal Greenwich Observatory
6. Pacific Ocean.
7. International Date Line.

در شکل (۱-۱) طول و عرض جغرافیایی محلی بر روی کره زمین، که با علامت بعلاوه (+) مشخص گردیده، نشان داده شده است. عرض جغرافیایی آن 45° شمالی و طول جغرافیایی آن 60° غربی است.

باید توجه داشت که این گونه مختصات جغرافیایی، با فرض کروی شکل بودن زمین است. البته شکل واقعی کره زمین در فصل هشتم، مورد بحث قرار گرفته، همچنین انواع دیگر مختصات نیز در آنجا بیان شده است.

درجات عرض جغرافیایی بطور مساوی تقسیم شده است، اما فاصله‌های مربوط کمی با هم فرق دارند که آن هم بعلت فشردگی^۱ کره زمین در ناحیه دو قطب آن است. فاصله یک درجه عرض جغرافیایی در ناحیه استوایی $110/567$ کیلومتر ($68/703$ مایل) است که در نزدیکی قطبها، این فاصله به $111/699$ کیلومتر ($69/407$ مایل) می‌رسد.

چنانکه می‌دانیم، نصف‌النهارات همدیگر را در قطبهای جغرافیایی زمین قطع می‌کنند، لذا فاصله یک درجه‌ای طول جغرافیایی از صفر کیلومتر در قطبها تا $111/321$ کیلومتر ($69/172$ مایل) در ناحیه استوایی تغییر می‌کند. درجات طول و عرض جغرافیایی با تقسیمات کوچکتر مانند دقیقه زاویه‌ای (′) و ثانیه زاویه‌ای (″) نیز نشان داده می‌شود.

۲. تعیین عرض جغرافیایی

عرض جغرافیایی یک مکان را می‌توان از روی نقشه‌های جغرافیایی پیدا کرد؛ همچنین با استفاده از روشهای متداول در نجوم، می‌شود آن را مشخص ساخت. به روشهای متداول نجومی، در پایان این قسمت، بطور خلاصه اشاره خواهد شد. اما پس از بیان یک خاصیت مهم عرض جغرافیایی، روشی را شرح خواهیم داد که می‌تواند در نقاط دوردست و بدون دسترسی به نقشه‌های جغرافیایی برای تعیین عرض جغرافیایی بکار رود، سپس طرز بدست آوردن عرض جغرافیایی، با استفاده از نقشه را بیان خواهیم کرد. قبل از شروع روشهای مختلف، می‌بایست یک خاصیت مهم در رابطه با عرض جغرافیایی را شرح داد:

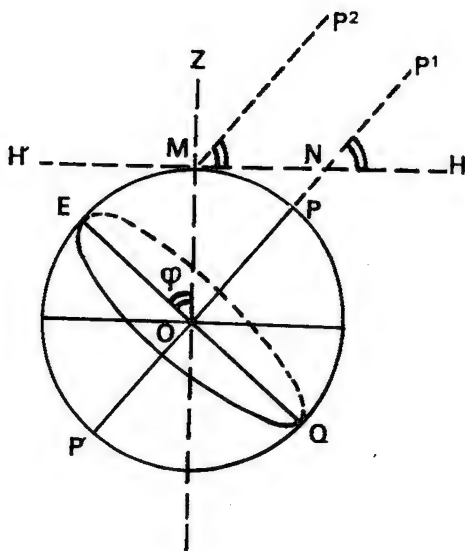
عرض جغرافیایی یک محل، برابر است با ارتفاع^۲ قطب سماوی^۳. — قطب سماوی در فصل ششم تعریف شده است — این خاصیت به طریق زیر قابل اثبات است:

دایره نشان داده شده در شکل (۱-۲) معرف کره زمین و نقطه O مرکز آن است. فرض می شود که نقطه M محل مورد نظر بر روی کره زمین باشد، در نتیجه، امتداد قائم^۱ در این محل در امتداد خط MO است؛ بطوری که اگر خط MO را بطرف بالای سر ناظر مستقر در نقطه M امتداد دهیم به سمت الرأس^۲ آن، در نقطه Z می رسیم. خط POP' محور زمین است که در صورت امتداد دادن آن، امتداد قطب سماوی مشخص می شود (OPP_1). دایره EQ نیز معرف دایره استواست.

خط HH' نمایانگر صفحه افق^۳، در نقطه M است که عمود بر خط ZMO رسم شده است. بُعد فاصله قطب سماوی تا حدی است که اگر از نقطه M خطی در امتداد آن رسم شود، خط حاصل، MP_2 ، موازی خط OPP_1 خواهد بود.

طبق تعریف، عرض جغرافیایی نقطه M با زاویه $\angle EOM = \varphi$ بیان می شود، در حالیکه ارتفاع قطب سماوی با زاویه $\angle HNP_1$ و یا زاویه $\angle HMP_2$ موازی NP_1 (است) ذکر می گردد. لذا می بایست تساوی زیر ثابت شود:

$$\angle EOM = \angle HMP_2$$



شکل (۱-۲) - برابری عرض جغرافیایی یک محل و ارتفاع قطب سماوی

$$\hat{HMP}_2 + \hat{ZMP}_2 = 90^\circ$$

این تساوی به طریق زیر ثابت می شود:

$$\hat{POM} + \hat{EOM} = 90^\circ$$

$$\hat{ZMP}_2 = \hat{POM}$$

از طرف دیگر

$$\hat{HMP}_2 = \hat{EOM}$$

ولذا

یعنی عرض جغرافیایی یک محل، برابر با ارتفاع قطب سماوی است.

این نتیجه، برای تعیین عرض جغرافیایی بکار برده می شود که در همین قسمت به آن اشاره خواهد شد.

۱-۲. تعیین عرض جغرافیایی با استفاده از وسایل ساده

در نقاط دوردست ممکن است به نقشه های جغرافیایی که دارای مشخصه طول و عرض جغرافیایی باشند دسترسی پیدا نشود و یا وسایل نجومی مورد لزوم برای تعیین عرض جغرافیایی در آن نقاط موجود نباشد، در اینصورت روش زیر را می توان به آسانی با استفاده از وسایل ساده بکار گرفت. در این روش نیازی به وسایل پیچیده نجومی، و آدم متخصص که بتواند با آنها کار کند، نیست و سهولت توسط همه کس قابل اجراست.

اساس روش، بر، اندازه گیری ارتفاع خورشید، در لحظه ای که خورشید درست بر بالای نصف النهار یک محل قرار می گیرد، استوار است. بدین ترتیب که وقتی خورشید از نصف النهار یک محل گذری کند، با توجه به شکل (۱-۳)، رابطه زیر صادق است:

$$a = 90^\circ - \varphi \pm \delta \quad (1-1)$$

که در آن

a = ارتفاع خورشید در لحظه عبور از نصف النهار محل

φ = عرض جغرافیایی محل

δ = میل خورشید

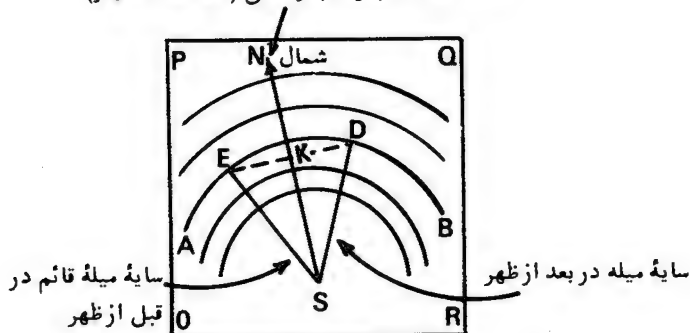
شعاعهای نور خورشید که بر زمین می تابند بعلت دوردست بودن منبع نور

محاسبه می‌گردد. مقادیر متوسط میل خورشید در روزهای سال، در جدول شماره (۱-۶) و همچنین طریق محاسبه آن در فصل ششم داده شده است.

برای عملی ساختن این روش، ابتدا می‌بایست امتداد نصف‌النهار و یا امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل را مشخص سازیم. در فصل دوم روشهای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی یک محل بیان شده است. در اینجا روش ساده‌ای برای تعیین این امتداد بیان می‌شود:

مطابق شکل (۴-۱) یک صفحه کاملاً افقی و تراز مانند صفحه OPQR را انتخاب می‌کنیم؛ در یک محل مناسب بر روی این صفحه، نقطه‌ای مانند نقطه S را

امتداد شمال و جنوب جغرافیایی (خط نصف‌النهار)



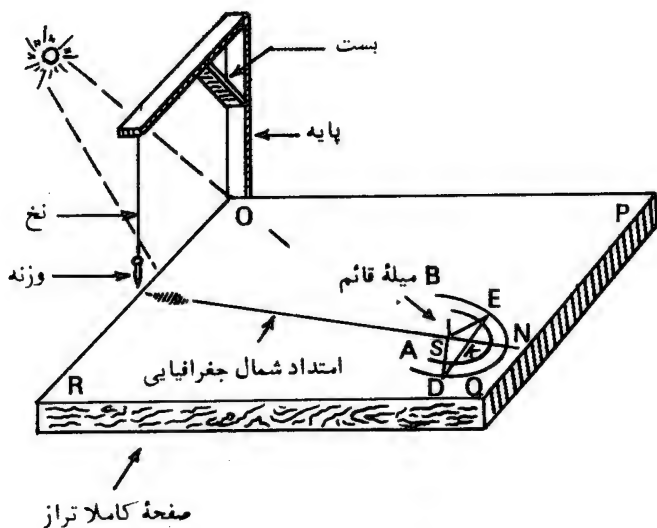
شکل (۴-۱) — تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با مشخص کردن سایه‌های مساوی یک میله قائم در صبح و بعد از ظهر. در این شکل تصویر از بالا نشان داده شده و لذا میله قائم نصب شده در نقطه S، به صورت یک نقطه دیده می‌شود.

مشخص می‌سازیم. به مرکز S و با شعاعهای مختلف، تعدادی کمان متحدالمرکز رسم می‌کنیم؛ در نقطه S یک سوزن و یا یک میله، بصورت کاملاً قائم نصب می‌نماییم؛ طول میله و یا سوزن را طوری انتخاب می‌کنیم که سایه آن بتواند بر روی کمانهای رسم شده بیفتد. چند ساعتی قبل از ظهر و در یک لحظه مشخص، انتهای سایه میله و یا سوزن بر روی یکی از کمانهای رسم شده می‌افتد که در شکل (۴-۱) نقطه E بر روی کمان AB مشخص کننده انتهای سایه است. در لحظه معینی در ساعات بعد از ظهر، انتهای سایه، دوباره بر همان کمان AB در نقطه دیگری مانند D خواهد افتاد. نقطه‌های E و D را، که دقیقاً بدین ترتیب مشخص شده‌اند، توسط یک خط

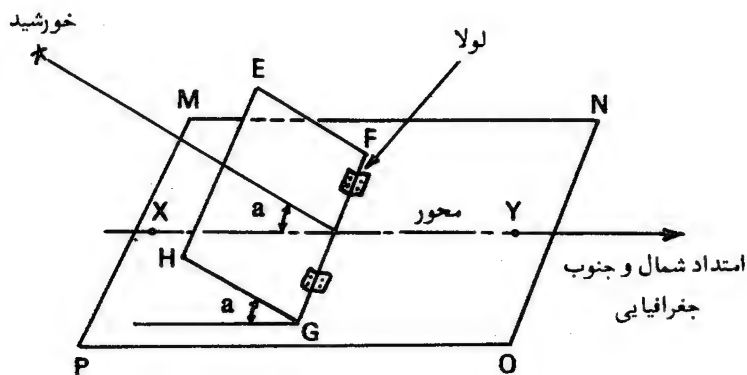
مستقیم به همدیگر وصل می کنیم. آنگاه وسط خط ED را بدست می آوریم که در شکل، نقطه K وسط این خط است. سپس نقطه K را به نقطه S وصل می کنیم که خط SKN، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و یا خط نصف النهار محل است. باید توجه داشت که در تمام مدت آزمایش صفحه OPQR کاملاً در جای خود ثابت مانده، هیچگونه تغییری در وضعیت آن داده نشود. دقت عمل در این روش بستگی به تراز بودن صفحه و بزرگی مقیاس کار یعنی اندازه شعاع کمانهای متحدالمرکز و بلندی میله و یا سوزن دارد. تعیین امتداد شمال و جنوب حقیقی با این روش در حدود یک روز طول می کشد. البته می توان برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی از روشهای دیگری که در فصل دوم داده شده است، استفاده کرد. همچنین دقت این روش را در فصل دوم مورد بحث قرار خواهیم داد. در حقیقت این روش همان طریقه معروف به دایره هندی است که از قرنهای پیش به کار گرفته می شده است.

در مرحله دوم، می بایست لحظه ای را که خورشید از نصف النهار محل می گذرد تعیین کنیم. برای این کار بعد از تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، در روز بعد با استفاده از همان صفحه OPQR کار را ادامه می دهیم. لحظه ای که خورشید بر روی نصف النهار محل قرار می گیرد، سایه میله قائم مستقر در نقطه S بر روی خط SKN خواهد افتاد. مشروط بر آنکه هیچگونه تغییری در وضعیت صفحه نداده باشیم. البته این کار را با استفاده از یک شاقول، بنحوی که در شکل (۵-۱) نشان داده شده است نیز می توان انجام داد. درست در لحظه ای که خورشید از نصف النهار یک محل، گذر می کند، سایه نخ یک شاقول که بر روی صفحه OPQR قرار داده شده، بر روی خط شمال و جنوب جغرافیایی می افتد.

در مرحله سوم، می بایست ارتفاع خورشید را درست در لحظه ای که از نصف النهار محل می گذرد، برای استفاده در فرمول (۱-۱)، اندازه گیری کنیم. این عمل، با ساختن وسیله ساده ای که در شکل (۶-۱) نمایانده شده، میسر است. صفحه MNOP یک صفحه کاملاً افقی است که محور XY آن، باید در امتداد خط شمال و جنوب جغرافیایی محل که به شرح فوق قبلاً تعیین شده، قرار گیرد. صفحه EFGH بوسیله لولا دقیقاً به صفحه MNOP طوری وصل شده که خط FG عمود بر محور XY است. حال، دقیقاً در لحظه ای که خورشید از نصف النهار محل می گذرد، صفحه EFGH را حول محور آن یعنی خط FG، آنقدر می چرخانیم تا سایه آن بر روی FG بیفتد و یا بعبارت دیگر، صفحه EFGH، دیگر سایه ای نداشته باشد. در این حالت، زاویه بین دو صفحه EFGH و



شکل (۱-۵) - تعیین لحظه‌ای که خورشید بر نصف النهار محل قرار می‌گیرد.



شکل (۱-۶) - شمای وسیله ساده برای اندازه‌گیری ارتفاع خورشید در لحظه عبور از نصف النهار یک محل.

برابر ارتفاع خورشید است که در فرمول (۱-۱) با علامت a نمایانده شده است. در مرحله آخر، با بدست آوردن میل خورشید از جدول شماره (۱-۶)، اندازه

عرض جغرافیایی (φ) را با استفاده از فرمول مذکور محاسبه می کنیم.

دقت روش بیان شده، بستگی دارد به دقتی که در ساختن و استقرار وسایل مورد لزوم بکار می رود. با توجه به آنچه که گذشت، در این روش، بیشترین اندازه ارتفاع خورشید، بعنوان ارتفاع خورشید در لحظه عبور از نصف النهار، گرفته شده است که البته این مطلب کاملاً و دقیقاً درست نیست؛ چه، میل خورشید، چنانکه در فصل ششم توضیح داده خواهد شد، بطور مداوم در حال تغییر است. البته اختلاف بین ماکسیمم ارتفاع خورشید و ارتفاع آن در لحظه عبور از نصف النهار محل، معمولاً کسری از ثانیه است که در آزمایشاتی این چینی قابل صرف نظر کردن است. تصحیح مربوط به شکست نور خورشید در اتمسفر زمین هم در این روش نادیده گرفته شده است.

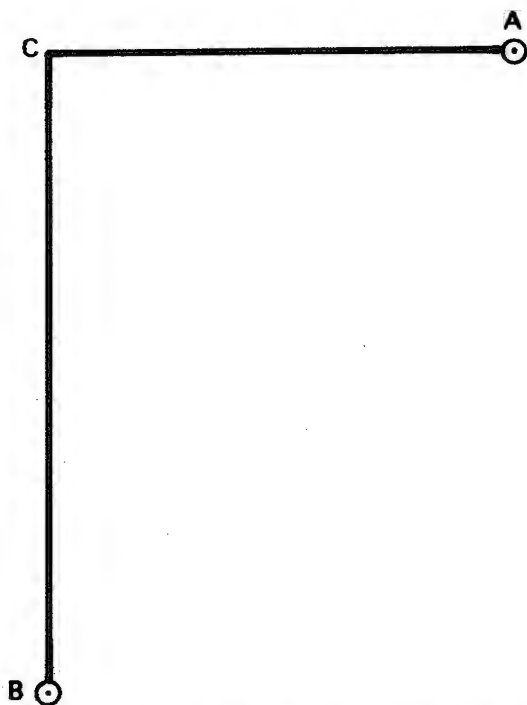
۲-۲. تعیین عرض جغرافیایی از روی نقشه

اندازه عرض جغرافیایی یک محل را از روی نقشه هایی که دارای مشخصه طول و عرض جغرافیایی هستند، بسادگی می توان بدست آورد. اگر مقیاس نقشه نیز بزرگ باشد، دقت عمل تا حدود دقیقه و یا کسری از آن هم می تواند باشد. کافی است محل مورد نظر را بر روی نقشه پیدا کرده، با توجه به خطوط مربوط به عرض جغرافیایی، از راه محاسبه و یا از راه ترسیم، عرض جغرافیایی محل را پیدا کنیم. این روش در صورتی عملی است که محل مورد نظر بر روی نقشه، نشان داده شده باشد، اما در صورتی که نشود محل مورد نظر را بر روی نقشه موجود مشخص کرد، روش ذکر شده قبلی را می توان بکار گرفت. ولی اگر نقشه موجود، دارای مشخصه طول و عرض جغرافیایی نباشد، روش ذیل را بکار می بندیم:

در ابتداء بر روی نقشه، شهر و یا محلی را که دارای مختصات جغرافیایی معلومی است، در نزدیکی محل مورد نظر انتخاب می کنیم. برای اختصار کلام، محل با مختصات جغرافیایی معلوم را محل معلوم می نامیم. سپس فاصله شرقی و یا غربی و فاصله جنوبی و یا شمالی محل معلوم را از محلی که مختصات جغرافیایی آن را نمی دانیم با یک خط کش مدرج اندازه می گیریم. در حقیقت فاصله مستقیم دو محل، اندازه گیری نمی شود، بلکه مطابق شکل (۷-۱) دو فاصله مختلف اندازه گیری می شود. بدین ترتیب اگر در این شکل نقطه A نمایانگر محل معلوم، و نقطه B محل مورد نظر باشد، فاصله بطرف شمال و یا جنوب از نقطه B و فاصله به طرف مشرق و یا مغرب از نقطه A اندازه گیری می شود؛ بنحوی که دو فاصله مربوط همدیگر را در نقطه ای مانند C قطع کنند. در

این شکل، نقطه A در شمال شرقی محل B است و لذا فاصله AC، شرقی و فاصله BC، شمالی است.

با توجه به فاصله‌هایی که قبلاً برای یک درجه عرض جغرافیایی داده شد، فاصله یک دقیقه عرض جغرافیایی، در حدود ۱/۸۵ کیلومتر (۱/۱۵ مایل) است. در مرحله بعدی فاصله‌های حقیقی AC و BC را با توجه به مقیاس نقشه، به دست می‌آوریم. در این مرحله، فاصله AC، مورد لزوم نیست، ولی بعداً در تعیین طول جغرافیایی بکار خواهد رفت. اما فاصله شمالی جنوبی BC برای محاسبه عرض جغرافیایی، لازم است. با توجه به اندازه داده شده در بالا، فاصله BC بر حسب کیلومتر، معادل $\frac{BC}{1/85} = 0/54 BC$ دقیقه عرض جغرافیایی است و چون نقطه مورد نظر در جنوب محل



شکل (۱-۷) - پیدا کردن طول و عرض جغرافیایی یک محل از روی مختصات جغرافیایی یک محل نزدیک به آن.

معلوم است، لذا باید معادل (۰/۵۴ BC) دقیقه، از عرض جغرافیایی نقطه A کاسته شود تا عرض جغرافیایی محل مورد نظر بدست آید. البته چنانکه واضح است کاربرد

این روش، در صورتی است که محل مورد نظر بر روی نقشه، مشخص باشد، در غیر اینصورت روش قبلی را می توان بکار گرفت.

بعد از بیان روشهای ساده فوق، به ذکر مختصر چند روش معمول در نجوم، می پردازیم که تعیین دقیق عرض جغرافیایی یک محل، با بکار بردن آنها کاملاً امکان پذیر است.

۳-۲. تعیین عرض جغرافیایی با اندازه گیری ارتفاع ستاره قطبی^۱

چنانکه قبلاً بیان شد، عرض جغرافیایی یک محل، برابر با ارتفاع قطب سماوی در آن محل است. اگر دقیقاً در امتداد قطب شمال سماوی، ستاره مشخصی وجود داشت، با اندازه گیری ارتفاع آن ستاره در هر محلی، عرض جغرافیایی آن، مشخص می گردید. اما چنین ستاره ای در امتداد دقیق قطب شمال سماوی موجود نیست. تنها ستاره ای که خیلی نزدیک قطب شمال سماوی قرار گرفته ستاره قطبی است که فاصله قطبی^۲ آن در حدود یک درجه و ده دقیقه ($1^{\circ}10'$) است.

لذا برای بدست آوردن عرض جغرافیایی یک محل، می بایست ارتفاع ستاره قطبی را بمقدار کمی تصحیح کرد. مقدار این تصحیح با توجه به وضعیت ستاره قطبی، ممکن است منفی و یا مثبت باشد.

۴-۲. تعیین عرض جغرافیایی، با اندازه گیری ارتفاع خورشید و یا یک ستاره در

لحظه عبور از نصف النهار محل

چگونگی این روش در مورد خورشید، در مطلب شماره (۱-۲) در این فصل توضیح داده شد و در مورد یک ستاره نیز اساس کار، همان است. در این روش، امتداد خط نصف النهار محل، باید از قبل تعیین شده باشد. این روش، در مواقعی بکار گرفته می شود که دقت زیادی مورد نیاز نباشد.

بعد از رصد ستاره معین در شب و اندازه گیری ارتفاع آن با وسایل نجومی، اندازه میل ستاره، از جدول نجومی^۳، بدست آمده و با توجه به موقعیت ستاره، نسبت به سمت الرأس ناظر، عرض جغرافیایی محل محاسبه می شود.

در مورد خورشید وقتی که ارتفاع آن با دقت زیاد و وسایلی نجومی اندازه گیری

می‌شود، می‌بایست تصحیحات نجومی^۱ از قبیل تصحیح مربوط به شکست نور^۲ خورشید در اتمسفر کره زمین و تصحیح مربوط به اختلاف منظر^۳ (پارالاکس) و غیره را نیز معمول داشت.

۵-۲. تعیین عرض جغرافیایی از روی رصد دو ستاره، که در دو طرف سمت‌الرأس ناظر قرار دارند، در لحظه عبور از نصف‌النهار محل

این روش، در حقیقت روش توسعه یافته قبلی است؛ بعلت اینکه در این روش دو رصد انجام می‌شود، لذا تصحیح مربوط به شکست نور و تصحیح مربوط به وسایل نجومی، عملاً یکدیگر را خنثی می‌کنند. اساس کار بدین ترتیب است که ارتفاع ستاره معینی را که در یک طرف سمت‌الرأس ناظر قرار می‌گیرد در حین عبور از نصف‌النهار محل با وسایل نجومی اندازه‌گیری کرده، عرض جغرافیایی را با روش قبلی محاسبه می‌کنند. سپس ستاره دیگری را در طرف سمت‌الرأس ناظر، طوری انتخاب می‌کنند که با اختلاف زمانی کمی، در حدود نیم ساعت از نصف‌النهار محل گذر کنند. آنگاه ارتفاع این ستاره را در حین عبور از نصف‌النهار نیز با همان وسایل، اندازه‌گیری کرده، عرض جغرافیایی محل را دوباره محاسبه می‌کنند. متوسط دو عرض جغرافیایی بدست آمده، عرض جغرافیایی محل است.

۶-۲. تعیین عرض جغرافیایی، با اندازه‌گیری ارتفاع نصف‌النهاری^۴ یک ستاره در حین گذر زیرین و زبرین^۵

ستارگان حول قطبی^۶ در طول شبانه‌روز بعلت حرکت وضعی زمین، دارای یک حرکت ظاهری^۷، حول قطب سماوی می‌باشند. بعلت این حرکت ظاهری، ستارگان حول قطبی، دوبار از نصف‌النهار سماوی^۸ یک محل گذر می‌کنند. در این روش، ارتفاع یک ستاره معین بهنگام عبور از نصف‌النهار محل، در گذر زیرین و زبرین، اندازه‌گیری می‌شود. متوسط دو ارتفاع اندازه‌گیری شده برابر عرض جغرافیایی محل ناظر است. در این روش، نیازی به دانستن میل ستاره، احساس نمی‌شود، اما بعلت اینکه فاصله بین دو گذر ستاره از نصف‌النهار محل ۱۲ ساعت نجومی^۹ طول می‌کشد لذا این روش، زیاد

1. Astronomical Corrections

2. Refraction

3. Parallax

4. Meridian Altitude

5. Lower and Upper Culmination

6. Circumpolar

7. Apparent movement

8. Celestial Meridian

9. Sidereal Hour

مورد استعمال ندارد.

۷-۲. تعیین عرض جغرافیایی با رصد خورشید و یا یک ستاره در هر وضعیتی

در روشهای قبلی، رصد خورشید و یا یک ستاره، بهنگام عبور از نصف‌النهار محل صورت می‌گرفت. در این روش ارتفاع ستاره و یا خورشید، در هر وضعیتی، اندازه‌گیری می‌شود و بعد ستاره از جدول نجومی، استخراج شده، آنگاه با استفاده از فرمولهای مربوط به مثلث نجومی^۲، عرض جغرافیایی محل محاسبه می‌گردد.

۸-۲. تعیین عرض جغرافیایی با رصد یک ستاره در حین عبور از سطح

نصف‌النهار اصلی^۳

در این روش ستاره‌ای که فاصله قطبی^۴ آن کمتر از ۹۰ درجه و بیشتر از ممتنع عرض جغرافیایی^۵ محل باشد، انتخاب می‌شود. چنین ستاره‌ای، در گردش شبانه‌روز زمین به دور خود، دو بار از سطح نصف‌النهار اصلی، گذر می‌کند. ستاره‌ای برای این رصد بهتر است که در نزدیکی سمت‌الرأس ناظر، از سطح نصف‌النهار اصلی بگذرد. بعد از انتخاب ستاره، فاصله زمانی دو گذر ستاره از سطح نصف‌النهار اصلی برحسب زمان نجومی تعیین می‌شود، سپس با استفاده از فرمولهای مربوط به مثلث نجومی و بدست آوردن اطلاعات لازم از جدول نجومی، عرض جغرافیایی محل، محاسبه می‌شود. مزیت این روش در این است که ارتفاع ستاره، اندازه‌گیری نمی‌شود و لذا مشخص نبودن دقیق میزان تصحیح مربوط به شکست نور، دیگر خطای نامشخص را بوجود نمی‌آورد.

۹-۲. تعیین عرض جغرافیایی با اندازه‌گیری ارتفاع حول نصف‌النهار

خورشید و یا یک ستاره

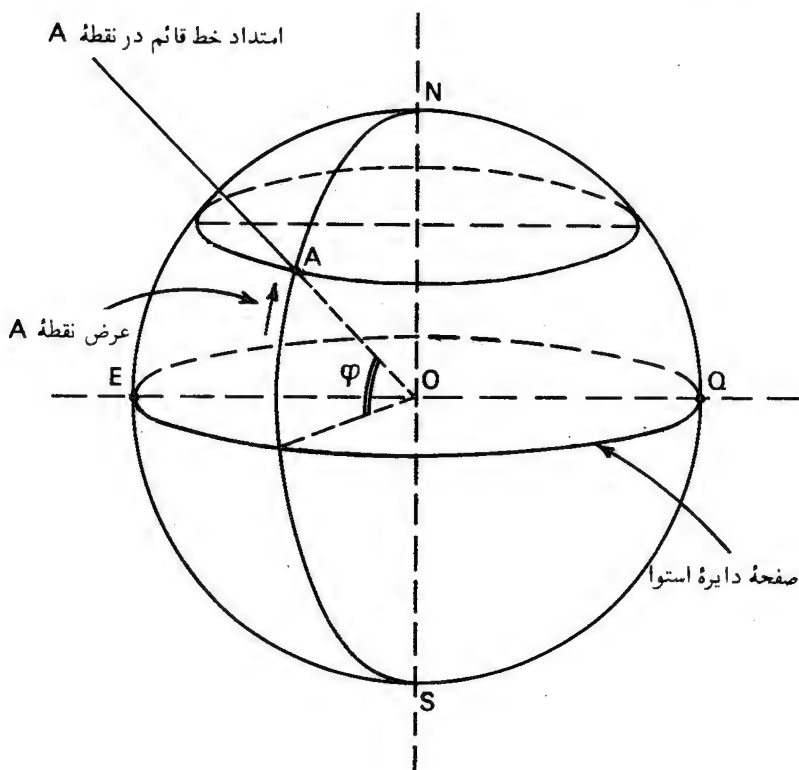
وقتی که ارتفاع یک ستاره در فاصله خیلی نزدیک به نصف‌النهار محل اندازه‌گیری شود، اصطلاحاً آن را ارتفاع حول نصف‌النهار^۶ می‌نامند. در این روش، ارتفاع ستاره و یا خورشید، چند دقیقه قبل و بعد از عبور از نصف‌النهار محل، اندازه‌گیری می‌شود. زمان دقیق هر اندازه‌گیری می‌بایست دقیقاً تعیین گردد، تا بتوان زاویه ساعتی^۷

1. Right - Ascension
2. Astronomical Triangle
3. Prime—Vertical Transit
4. Polar Distance
5. Co-latitude
6. Circum—meridian Altitude
7. Hour angle

را نیز حساب کرد. سپس با استفاده از فرمولهای مختلف، ارتفاع نصف النهاری ستاره، محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد، از روی ارتفاع نصف النهاری، به ترتیبی که قبلاً بیان شده، عرض جغرافیایی محل، حساب می‌شود.

۳. عرض جغرافیایی^۱ و عرض زمین مرکزی^۲

قبلاً عرض^۳ یک نقطه بر روی کره زمین را بعنوان عرض جغرافیایی بیان کردیم. امّا، بین تعریف عرض و عرض جغرافیایی یک نقطه بر روی کره زمین، به شرحی که در ذیل خواهد آمد، تفاوت وجود دارد.

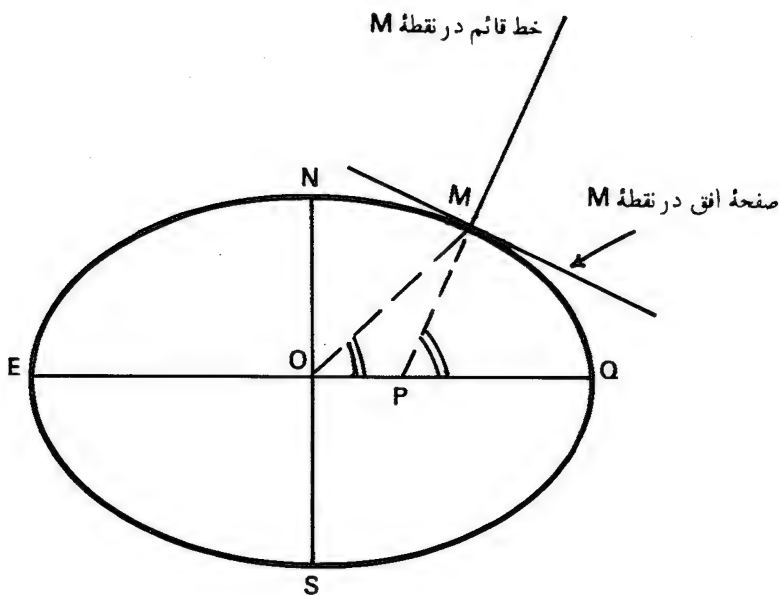


شکل (۸-۱) — عرض یک نقطه بر روی کره زمین، وقتی که شکل آن بصورت یک کره کامل فرض شود. زاویه بوجود آمده در مرکز زمین بین امتداد قائم محل و صفحه استوا، عرض محل مورد نظر است.

عرض یک محل را می‌توان بصورت کمانی از یک دایرهٔ عظیمه‌ای که از قطبین کرهٔ زمین و محل مورد نظر، می‌گذرد و مابین آن و صفحهٔ استوای زمین قرار می‌گیرد، تعریف کرد. بسته به محل مورد نظر، کمان دایرهٔ عظیمه، ممکن است در شمال و یا جنوب صفحهٔ استوا قرار گیرد. عبارت دیگر، با توجه به آنچه که در شکل (۸-۱) نشان داده شده است، عرض یک محل، عبارت از زاویه‌ای است که در مرکز زمین بین صفحهٔ استوا و امتداد خط قائم^۱ در محل، بوجود می‌آید.

اساس این مطلب بر این است که زمین بصورت یک کرهٔ کامل فرض گردد، اما همچنانکه در فصل هشتم بصورت مفصلتر بیان خواهد شد، شکل کرهٔ زمین بصورت کرهٔ کامل نیست، بلکه در قطبین آن، مانند آنچه که در شکل (۹-۱) نشان داده شده، حالت پهن‌شدگی^۲ وجود دارد.

البته این شکل با مقیاس، رسم نشده و فشردگی زمین در قطبها، بصورت اغراق‌آمیز نمایانده شده است. قبلا هم به برآمدگی زمین در نواحی استوایی و فشردگی



شکل (۹-۱) — عرض جغرافیایی و عرض زمین مرکزی.

آن در قطبها، اشاره شد و دیدیم که فاصله مربوط به یک درجه عرض جغرافیایی در قطبها، بیشتر از ناحیه استوایی است.

در شکل (۹-۱) مقطعی از زمین بصورت یک بیضی نشان داده شده که نقطه M، نمایانگر یک محل است. اگر زمین بصورت کره کامل بود، امتداد خط قائم بر صفحه افق^۱ در نقطه M، از مرکز آن در نقطه O می‌گذشت یعنی در امتداد خط OM قرار می‌گرفت. اما با فرض بیضوی^۲ بودن زمین، خط عمود^۳ بر صفحه افق در نقطه M بر امتداد OM قرار نگرفته، بلکه امتدادی مانند PM خواهد داشت. و درحقیقت وقتی که ارتفاع قطب سماوی در نقطه M، به منظور تعیین عرض جغرافیایی، اندازه‌گیری می‌شود، اندازه زاویه MPQ بدست می‌آید و نه زاویه MOQ. اندازه زاویه MPQ، آنچه را که اصطلاحاً عرض جغرافیایی و یا عرض ژئودتیک^۴ نامیده می‌شود به دست می‌دهد. تقریباً عرض ژئودتیک همان عرضی است که در مشاهدات نجومی بدست می‌آید. اندازه زاویه MOQ عرض زمین مرکزی را بدست می‌دهد. بیشترین اختلاف بین عرض زمین مرکزی و عرض ژئودتیک، در عرض ۴۵ درجه است که در حدود ۱۱ دقیقه و ۴۴ ثانیه قوسی است. براساس فرمولهائیکه در فصل هشتم داده شده است، رابطه بین دو عرض تعریف شده، بصورت زیر است:

$$\frac{\tan \overset{\wedge}{\text{MOQ}}}{\tan \overset{\wedge}{\text{MPQ}}} = \frac{\text{ON}^2}{\text{OQ}^2} \quad (۱-۲)$$

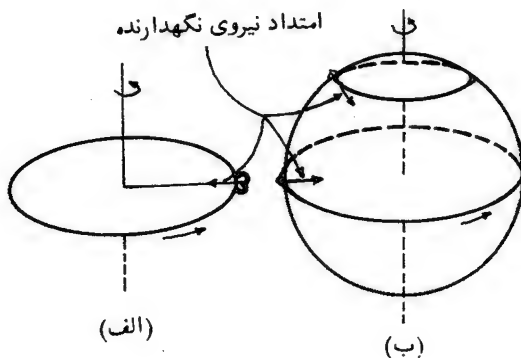
بدین ترتیب می‌بینیم که عرض یک محل بر روی کره زمین و یا بطور کلی مختصات آن، بستگی به شکل واقعی زمین دارد و به همین دلیل شکل زمین در فصل هشتم تشریح شده است.

۴. تغییرات عرض جغرافیایی^۵

شکل زمین تقریباً بصورت یک شبه کره پهن شده^۶ است که بمقدار کمی در قطبها فشرده شده و در نواحی استوایی دارای برآمدگی است، که برآمدگی آن، قرینه می‌باشد. برآمدگی استوایی زمین در اثر حرکت دورانی زمین به دور محور آن، بوجود آمده است. یک شیئی که بر روی یک جسم در حال دوران قرار دارد در صورتی که بر روی جسم

- | | | | |
|--------------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| 1. Horizon | 2. Ellipsoid | 3. Perpendicular | 4. Geodetic Latitude |
| 5. Variation of Latitude | 6. Oblate Spheroid | | |

نگهداشته نشده باشد، در امتداد خط مماس بر آن جسم به بیرون آن پرت خواهد شد. مثلاً وزنه‌ای که بوسیله یک نخ، در یک مسیر دایره‌ای شکل در حال دوران است، در صورت پاره شدن نخ در امتداد خط مماس بر مسیر دایره‌ای شکل، پرت خواهد شد. اما می‌بینیم، با وجود آنکه زمین در حال دوران است، ولی اجسام روی آن به بیرون پرت نمی‌شوند. علت اینست که نیروی جاذبه زمین، اجسام روی آن را محکم نگهداشته مانع پرت شدنشان به بیرون می‌شود. چنانکه در شکل، (الف ۱۰-۱) نشان داده شده،



شکل (۱۰-۱) — نیروی نگهدارنده اجسام در حال دوران: در شکل (الف) وزنه در اثر نیروی کشش نخ در مدار دایره‌ای شکل دوران می‌کند. در شکل (ب) نیروی نگهدارنده اجسام بر روی زمین، نیروی جاذبه آن است که در ناحیه استوایی امتداد نیروی جاذبه در صفحه دوران، و در سایر مناطق، در خارج آن قرار دارد.

در حالت وزنه و نخ، نیروی نگهدارنده وزنه، در صفحه دوران وزنه قرار گرفته است. ولی در مورد زمین، مطابق آنچه که در شکل (ب ۱۰-۱) نشان داده شده، نیروی نگهدارنده اجسام، بجز در ناحیه استوایی، در سطح دوران آنها قرار ندارد.

به همین علت یک نیروی بازمانده، وجود دارد که سبب راندن تمام اجسام به سوی منطقه استوایی می‌گردد. همین نیروی بازمانده است که برآمدگی ناحیه استوایی را موجب شده و باعث تراکم جرم در آنجا گشته است. این برآمدگی طوری است که زمانی که به ناحیه استوایی می‌رسیم، سربالایی شروع می‌شود.

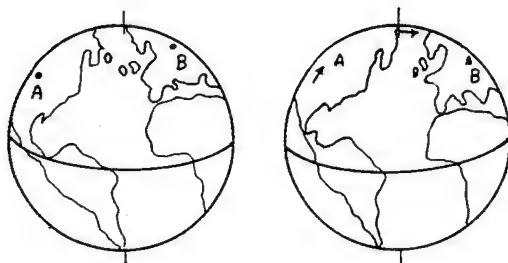
میزان سربالایی و تراکم جرم در ناحیه استوایی، طوری است که مابین نیروی بازمانده — که اجسام را به سوی دایره استوا، می‌راند و نیروی لازم برای بالا رفتن از

سرابالایی — تعادل بوجود آمده است. بنابراین شکل زمین در حال حاضر تغییری ندارد و بحالت تعادل رسیده است.

باوجود این اگر مقداری ماده در محلی به غیر از ناحیه استوایی بر زمین اضافه شود، نیروی بازمانده باعث می شود که این اضافه جرم بسوی استوا حرکت کند. برای مثال چنانچه سلسله جبالی در محلی در شمال استوا در حال تشکیل باشد، حرکتی به سوی دایره استوا خواهد داشت. البته چون سلسله جبال مذکور به پوسته زمین متصل است، لذا تمامی پوسته، به آرامی حرکت کرده و جرم اضافی را به سمت استوا، می راند. این لغزش پوسته زمین بر روی امتداد محور چرخش آن، که امتدادی ثابت است، اثری ندارد. تنها چیزی که می تواند اتفاق بیفتد تغییر وضعیت خود زمین نسبت به محور چرخشی آنست. نتیجه این عمل حرکت لرزشی 'تمامی توده زمین نسبت به محور چرخشی آنست.

زمین دائماً دارای تغییراتی در توزیع جرم خود است. این تغییرات احتمالاً در فواصل نامرتب، بوجود می آید و موجب ایجاد ضربه هایی در یک جهت و بعضی اوقات در جهت دیگر، می گردد. این پدیده شبیه پاندولی است که در حال نوسان بوده از جهات مختلف ضربات نامرتبی به آن وارد می شود. چنین پاندولی به حرکت نوسانی طبیعی خود ادامه می دهد و اغتشاشات نامرتبی که در اثر ضربه های منفرد ایجاد می گردد، بوسیله نوسانات طبیعی آن، پوشیده می ماند.

بعلت حرکت لرزشی زمین نسبت به محور چرخشی آن، عرض جغرافیایی هر-



شکل (۱-۱۱) — تغییرات عرض جغرافیایی؛ به علت ضلوع بودن زمین، کاهش در عرض B برابر افزایش عرض A است. جابجایی نقطه B در یک جهت و نقطه A در جهت دیگر از ۵۰ فوت تجاوز نکرده است. ممکن است در گذشته های دور تغییرات بیشتری در عرض جغرافیایی اتفاق افتاده باشد.

نقطه ای بر روی زمین، دچار تغییر می گردد. چنین تغییراتی که در عرض جغرافیایی پدیدار می گردد، از سال ۱۸۴۲ در چند رصدخانه^۱ که در جهات مختلف نسبت به قطب قرار دارند، اندازه گیری شده است. این پدیده ها را در شکل (۱-۱۱) می توانید مشاهده کنید. بدین ترتیب که اگر عرض نقطه^۲ A افزایش یافته است، عرض نقطه^۳ B، در طرف دیگر قطب، به همان اندازه، کاهش داشته است. در این پدیده، امتداد محور چرخشی زمین در فضا تغییری نمی کند اما در ایام مختلف، نقاط گوناگونی بر روی کره زمین در حوالی قطبها، بر قطبهای چرخشی منطبق می شوند. به همین خاطر گاهی تغییرات عرض جغرافیایی را به نام سرگردانی قطب^۴ می نامند.

تعیین تغییرات عرض جغرافیایی یک نقطه بر روی زمین، یکی از دقیقترین اندازه گیریهای علوم فیزیک است. تغییرات عرض جغرافیایی در زمانهای مختلف، با دقتی تقریباً برابر با یک صدم ثانیه قابل تعیین است. این دقت، معادل اختلاف فاصله ای برای ۳۰ سانتیمتر و یا تقریباً یک فوت است. چنین دقتی بیانگر یک قسمت از ۱۰^۸ می باشد. شکل (۱-۱۲) حرکت قطب را بین سالهای ۱۹۴۱ و ۱۹۴۷ نشان می دهد. از زمان اولین اندازه گیریهای تغییرات عرض جغرافیایی، قطبها در حدود ۵۰ فوف تغییر مکان داده اند. حرکت لرزشی زمین نسبت به محور چرخشی آن، یک حرکت نامرتبی است و به نام لرزش چاندلر^۵، نامیده می شود. در این حرکت، زمین در اطراف محور چرخشی خود در یک دوره^۶ متغیر^۷، در حدود ۴۴۰ روز، حرکت می کند.

موضوع تغییرات عرض جغرافیایی، بدان جهت در این قسمت آورده شد که زمانی که تعیین دقیق عرض جغرافیایی خانه کعبه، در فصل نهم کتاب، میان می آید، این گونه تغییرات را نیز می توان در دقت های زیاد در مد نظر داشت.

۵. تعیین طول جغرافیایی

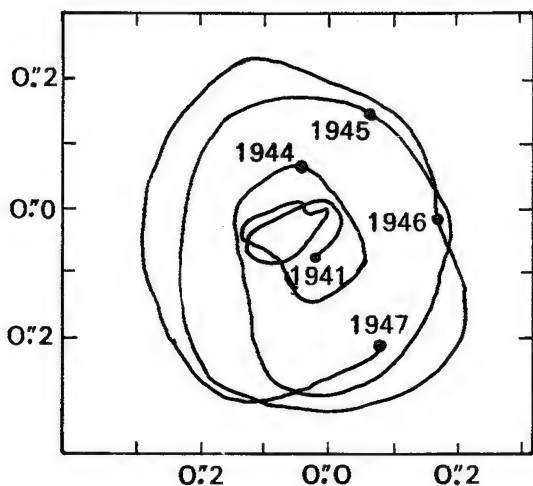
طول جغرافیایی یک نقطه نسبت به نقطه دیگر، برابر با اختلاف بین نصف النهارهای دو نقطه است که بصورت کمانی از دایره استوا محصور بین آنها اندازه گیری می شود. طول جغرافیایی، در صورتی که بر حسب درجه قوسی بیان شود تا ۱۸۰ درجه به سمت مشرق و یا به سمت مغرب نصف النهاری ثابت که بعنوان مبداء انتخاب شده

1. Observatory

2. The Wandering of the pole

3. Chandler Wobble

4. Variable Period



شکل (۱۲-۱) — سرگردانی قطب بین سالهای ۱۹۴۱ و ۱۹۴۷. امتداد محور چرخشی زمین در فضا ثابت است اما نقاط مختلفی در زمانهای مختلف بر قطب منطبق شده‌اند.

است، تغییر می‌کند. چنانکه قبلاً نیز بیان شد، نصف‌النهار مبدئی که انتخاب شده و توسط اکثر ممالک، مورد قبول قرار گرفته، نصف‌النهار گرینیچ است. اختلاف طول جغرافیایی در دو نقطه، به اختلاف وقت هم زمان اندازه‌گیری شده در دو نقطه نیز بستگی دارد. اگر وقت محلی نقطه‌ای را که در آن قرار گرفته‌ایم محاسبه کنیم و همچنین وقت محلی نقطه دیگری را در همان زمان بدانیم، اختلاف بین دو وقت محلی برابر با اختلاف طول جغرافیایی دو نقطه برحسب زمان خواهد بود.

در این قسمت ابتدا روش ساده‌ای را برای تعیین طول جغرافیایی در نقاط ناشناخته ذکر کرده، آنگاه به چگونگی تعیین آن از روی نقشه، اشاره می‌کنیم و در پایان به روشهای نجومی که برای تعیین دقیق آن بکار گرفته می‌شود، بطور مختصر نظر خواهیم افکند. بیشتر روشها در این مطلب خلاصه می‌شود که می‌بایست اختلاف وقت را بین یک محل معین مانند گرینیچ و وقت محلی نقطه مورد نظر بدست آورد. وقت محلی که نسبت به نصف‌النهار یک محل، مورد محاسبه قرار می‌گیرد، بسادگی از روی وقت استاندارد^۲، که نسبت به یک نصف‌النهار معین در منطقه سنجیده می‌شود، تعیین می‌گردد. این مطلب در فصل هفتم، تشریح شده است.

۵-۱. تعیین طول جغرافیایی در نقطه ای ناشناخته و دور دست

روش ساده ای که در اینجا بیان می شود، می تواند برای تعیین طول جغرافیایی نقاط ناشناخته ای که حتی در نقشه های جغرافیایی دیده نمی شوند، بکار گرفته شود. تنها وسیله مورد لزوم، یک ساعت دقیق و یا یک کرومومتر^۱ (زمان سنج) است. اساس این روش، بر اندازه گیری وقت در لحظه عبور خورشید از نصف النهار محل استوار است. لحظه عبور خورشید از نصف النهار محل را اصطلاحاً ظهر خورشیدی^۲ (شمسی)، ظهر شمسی حقیقی^۳ ظهر شمسی ظاهری^۴ و یا به بیان دیگر ظهر شرعی می نامند. در این روش، طول جغرافیایی محل، از روی فرمول زیر محاسبه می شود:

$$LAT = ST + EOT \pm LA \left(\frac{E}{W} \right) \quad (1-3)$$

که در آن

LAT = وقت ظاهری محل^۵ و یا وقت شمسی حقیقی^۶ محل است که توسط ساعت خورشیدی نشان داده می شود.

ST = وقت استاندارد و یا وقتی است که توسط ساعت، در محل نشان داده می شود.

EOT = تعدیل زمان^۷ (معادله زمان) برحسب دقیقه.

LA عبارت مربوط به تصحیح طول جغرافیایی^۸ است و از روی رابطه زیر برحسب دقیقه زمانی بدست می آید:

$$LA = 4 \times (\text{اختلاف بین طول جغرافیایی محل و طول جغرافیایی نصف النهار}) \quad (1-4)$$

استاندارد^۹ مربوط به وقت استاندارد در منطقه)

حروف E و W و علامت های بعلاوه (+) و منها (-) بدان معنی است که اگر محل مورد نظر، در مشرق نصف النهار استاندارد قرار گرفته باشد، علامت (+) و در صورتی که در مغرب آن باشد، علامت (-) بکار می رود.

فرمول های فوق، به تفصیل در فصل دهم شرح داده شده اند.

در لحظه ظهر خورشیدی $12 - LAT$ است. مقادیر تعدیل زمان (EOT) را می توان یا محاسبه کرد و یا از جدول (۷-۳) در فصل هفتم بدست آورد. وقت استاندارد از ساعت معمولی که مطابق وقت استاندارد، میزان شده باشد، بدست می آید. وقت

- | | | |
|------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1. Chronometer | 2. Solar Noon | 3. Real Solar Noon |
| 4. Apparent Solar Noon | 5. Local Apparent Time | 6. (Real) Solar Time |
| 7. Equation of Time | 8. Longitude Adjustment | |
| 9. Standard Meridian | | |

استاندارد برای نصف النهار مشخصی است که به نام نصف النهار استاندارد در یک منطقه استاندارد^۱، نامیده می شود. مثلاً نصف النهار استاندارد مربوط به وقت استاندارد و یا رسمی در ایران ۵۲/۵ درجه طول شرقی است. یعنی وقتی که رادیوایران ساعت ۱۲ ظهر را اعلام می کند. این بدین معنی است که خورشید میانگین^۲ بر بالای نصف النهار ۵۲/۵ درجه شرقی قرار گرفته است. خورشید میانگین خورشیدی است فرضی که با سرعتی یکنواخت ظاهراً در مسیر استوای سماوی^۳، یک بار در ۲۴ ساعت به دور زمین می گردد. کلمه ظاهراً بدان معنی است که درحقیقت، این زمین است که یک بار به دور خود می چرخد و چنین بنظر می رسد که خورشید یک بار به دور آن گشته است. توضیح بیشتر این مطالب را در فصل هفتم بخوانید.

با توضیحاتی که داده شد، روش کار بدین گونه است که دریابیم که در لحظه ظهر خورشیدی، یک ساعت دقیق و میزان شده، چه وقتی را نشان می دهد. چگونگی تعیین لحظه ظهر خورشیدی، قبلاً در مطلب شماره (۱-۲) این فصل عنوان شده است. حال برای درک بهتر مطلب، به ذکر مثالی می پردازیم:

مثال (۱-۱) — در نقطه ای ناشناخته، بعد از تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، لحظه ظهر خورشیدی، برابر ۱۷ دقیقه بعد از ظهر به وقت رادیوایران در روز ۲۱ آذرماه ۱۳۶۳، تعیین شده است. طول جغرافیایی محل چقدر است؟

راه حل — در روز ۲۱ آذرماه ۶۳ (معادل دوازدهم دسامبر ۱۹۸۴ میلادی) اندازه تعدیل زمان در جدول شماره (۳-۷) برابر با (+۶) دقیقه و ۳۴ ثانیه است (دقیقه ۵۷/۶ = EOT) و چون در لحظه ظهر خورشیدی، وقت ساعت خوانده شده، لذا ۱۲ = LAT است. اگر اختلاف دو طول جغرافیایی را X بنامیم، با استفاده از روابط (۱-۳) و (۱-۴) می توانیم بنویسیم:

$$X \pm ۴ = (+۶/۵۷ \text{ دقیقه} + ۱۷ \text{ دقیقه} - ۱۲ \text{ ساعت} - ۱۲ \text{ ساعت})$$

$$X \pm ۴ = -۲۳/۵۷$$

$$X = -۵/۸۹۲۵$$

X نمایانگر اختلاف دو طول است و لذا می تواند بدون علامت باشد، پس:

$$X = ۵/۸۹۲۵$$

نتیجه اینکه، اختلاف بین طول جغرافیایی محل مورد نظر و نصف النهار ۵۲/۵ درجه شرقی برابر با ۵/۸۹۲۵ درجه است. یعنی طول جغرافیایی محل مورد نظر، هم

می تواند برابر با $۵۲/۵$ درجه بعلاوه $۵/۸۹۲۵$ درجه، یعنی $۵۸/۳۹۲۵$ درجه شرقی باشد و هم برابر با $۵۲/۵$ درجه، منهای $۵/۸۹۲۵$ درجه، یعنی $۴۶/۶۰۷۵$ درجه شرقی باشد. پیدا کردن اینکه کدامیک صحیح است کار ساده ای است. کافی است در فرمولهای بکار رفته، مقدار ST را مجهول بگیریم و معادله را با جوابهای بدست آمده، دوباره حل کنیم. هر کدام که جواب ST را صحیح بدست داد یعنی ST برابر با ۱۷ دقیقه بعد از ظهر شد، جواب صحیح مسئله است. با توجه به این امر دو جواب بدست آمده را به شرح زیر کنترل می کنیم. اول برای جواب $۵۸/۳۹۲۵$ درجه طول شرقی:

$$۱۲ = ST + (+۶/۵۷) + ۴(۵/۸۹۲۵)$$

$$ST = ۳۰/۱۴ \text{ دقیقه و } ۱۲ \text{ ساعت}$$

و درمورد جواب $۴۶/۶۰۷۵$ درجه طول شرقی خواهیم داشت:

$$۱۲ = ST + (+۶/۵۷) - ۴(۵/۸۹۲۵)$$

$$ST = ۱۷ \text{ دقیقه و } ۱۲ \text{ ساعت}$$

که در نتیجه، این جواب صحیح است یعنی طول جغرافیایی محل مورد نظر $۴۶/۶۰۷۵$ درجه شرقی است. باید توجه داشت که در این رابطه اخیر چون $۴۶/۶۰۷۵$ درجه طول شرقی در مغرب نصف النهار استاندارد ($۵۲/۵$ درجه شرقی) قرار دارد، علامت منها (-) منظور شده است و در رابطه قبل، چون $۵۸/۳۹۲۵$ درجه طول شرقی در مشرق نصف النهار استاندارد واقع شده، لذا علامت بعلاوه (+) بکار رفته است.

همچنین می شد بدون انجام این محاسبات، با توجه به علامت مقدار ($\pm X$) که برابر با $۵/۸۹۲۵$ - درجه شده است، نتیجه را نیز حدس زد. وقتی که این علامت منفی باشد محل مورد نظر در مغرب نصف النهار استاندارد است و لذا باید $۵/۸۹۲۵$ درجه را از $۵۲/۵$ درجه طول شرقی کم کرد. و وقتی که علامت مقدار بدست آمده برای مقدار ($\pm X$) مثبت باشد، محل مورد نظر در مشرق نصف النهار استاندارد قرار گرفته است، لذا باید تفاوت بدست آمده را به $۵۲/۵$ درجه طول شرقی اضافه کرد.

دقت این روش، بستگی به دقت بکار رفته در تعیین لحظه ظهر خورشیدی دارد. البته مقادیر تعدیل زمان را می شود از جدول نجومی، دقیقاً برای وقت معین استخراج کرد. چنین مقادیری قطعاً جواب دقیقتری از طول جغرافیایی را بدست خواهد داد. اما از آنجایی که کل روش را نمی توان بعنوان یک روش خیلی دقیق بحساب آورد، لذا می توان همان مقادیر تعدیل زمان مندرج در جدول را بکار برد.

۵-۲. تعیین طول جغرافیایی از روی نقشه

طول جغرافیایی (۸) یک محل را می‌توان از روی نقشه‌هایی که دارای این مشخصه، باشند، بسادگی بدست آورد: در صورتیکه مقیاس نقشه، بزرگ باشد، دقت عمل، می‌تواند تا حدود دقیقه و یا کسری از آن باشد. کافی است محل مورد نظر را بر روی نقشه پیدا کنیم و با توجه به خطوط مربوط به طول جغرافیایی، از راه محاسبه و یا از راه ترسیم، طول جغرافیایی محل را بدست آوریم. اما در صورتیکه نتوان محل مورد نظر را بر روی نقشه موجود مشخص کرد، می‌توان روش ذکر شده قبلی را به کار برد.

گاهی اوقات نقشه موجود در دسترس، دارای مشخصه طول و عرض جغرافیایی نیست، در این صورت به شرح زیر، طول جغرافیایی محل را پیدا می‌کنیم:

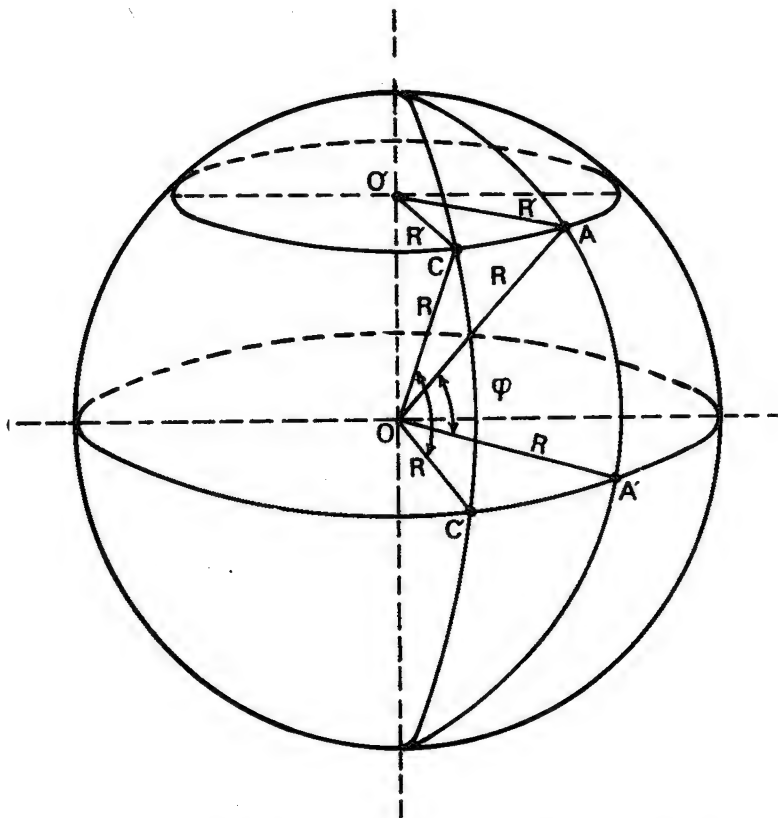
این روش نیز همانند روش مربوط به تعیین عرض جغرافیایی است که در مطلب شماره (۲-۳) در این فصل و شکل (۷-۱) مربوط به آن، گفته شد. در آنجا گفتیم که طول AC، برای تعیین طول جغرافیایی، بکار خواهد رفت و با توجه به طول BC عرض جغرافیایی محل B را از روی عرض جغرافیایی نقطه A که معلوم فرض شده بود، بدست آوردیم. در اینجا هم طول جغرافیایی محل B را از روی طول جغرافیایی محل معلوم محاسبه می‌کنیم. در مورد محاسبه عرض جغرافیایی، مسئله ساده بود و دیدیم که فاصله یک دقیقه عرض جغرافیایی در امتداد خط شمالی جنوبی معادل ۱/۸۵ کیلومتر (۱/۱۵ مایل) است. اما در مورد طول جغرافیایی، مطلب به این اندازه ساده نیست. فاصله شرقی غربی معادل یک درجه طول جغرافیایی، با اندازه عرض جغرافیایی تغییر می‌کند.

در شکل (۱۳-۱) نقاط A و C نمایانگر دو محل با عرض جغرافیایی برابرند و عبارت دیگر بر روی یک مدار، قرار گرفته‌اند و فرض می‌کنیم که عرض جغرافیایی آنها برابر φ باشد. می‌دانیم که اندازه کمان AC بر حسب درجه، برابر با اختلاف طول جغرافیایی نقاط A و C است؛ البته این مطلب، در صورتی صحیح است که هر دو نقطه یک طرف نصف‌النهار مبدا قرار گرفته باشند. همچنین اندازه کمان AC بر حسب درجه برابر کمان AC است. اگر شعاع زمین R باشد، بسادگی طول کمان AC را می‌شود محاسبه کرد:

$$\text{طول کمان } A'C' = \frac{2 \times \pi \times R}{360^\circ} \times (\text{اندازه کمان } A'C' \text{ بر حسب درجه})$$

به همین ترتیب اگر شعاع مدار AC برابر R باشد ($OB = OC = R$)

$$\text{اندازه کمان AC بر حسب درجه} = \frac{2 \times \pi \times R'}{360^\circ} \times \text{طول کمان AC}$$



شکل (۱-۱۳) - معایبه طول شرقی-غربی بر حسب اختلاف طول جغرافیایی دو نقطه.

بنابراین، داریم:

در مثلث قائم الزویه $OO'C$ زاویه OC برابر با $(90^\circ - \varphi)$ است و در نتیجه خواهیم داشت:

$$\sin \angle O'OC = \sin (90^\circ - \varphi) = \cos \varphi = \frac{O'C}{OC} = \frac{R'}{R}$$

$$R' = R \cos \varphi$$

$$(۱-۵) \quad \frac{\text{طول کمان } A'C'}{\text{طول کمان } AC} = \frac{1}{\cos \varphi}$$

حال به شکل (۱-۷) برمی گردیم. طول تعیین شده AC بر روی نقشه، تقریباً می تواند معادل طول کمان AC فرض شود، چه نقاط A و C نسبت به اندازه های کره زمین بسیار بهم نزدیک انتخاب شده اند. با توجه به فاصله هایی که قبلاً برای یک درجه طول جغرافیایی در ناحیه استوایی داده شد، فاصله یک دقیقه طول جغرافیایی در ناحیه استوایی برابر $۱/۸۵$ کیلومتر ($۱/۱۵$ مایل) است. در نتیجه، با استفاده از رابطه فوق طول کمان AC برای حالتی که اندازه کمان $A'C'$ برابر یک دقیقه باشد، بسادگی محاسبه می گردد. این طول برابر $(۱/۸۵ \cos \varphi)$ کیلومتر و یا $(۱/۱۵ \cos \varphi)$ مایل خواهد بود. در نتیجه، طول تعیین شده AC بر روی نقشه، و برحسب کیلومتر معادل $\frac{AC}{۱/۸۵ \cos \varphi} = \frac{۰/۵۴ AC}{\cos \varphi}$ دقیقه طول جغرافیایی است. حال اگر مثلاً طول جغرافیایی نقطه A شرقی باشد، چون نقطه مورد نظر در مغرب آن است، لذا باید معادل $(\frac{۰/۵۴ AC}{\cos \varphi})$ دقیقه، از طول جغرافیایی آن کاسته گردد، تا طول جغرافیایی محل مورد نظر بدست آید.

البته کاربرد این روش نیز در صورتی است که محل مورد نظر، بر روی نقشه، مشخص باشد، در غیر این صورت روش قبلی را می توان بکار گرفت.

در اینجا جا دارد که به چگونگی محاسبه فاصله دو محل که دارای عرض جغرافیایی برابرند، نیز اشاره شود. با توجه به آنچه که در بالا شرح داده شد، فاصله دو محل، که دارای عرض برابرند، برحسب مایل دریایی و در امتداد مداری که از آنها می گذرد، برابر است با:

$$\text{Cos } \varphi \times (\text{تفاوت طول جغرافیایی دو محل برحسب دقیقه})$$

این فاصله، بیشتر در دریانوردی کاربرد دارد که اصطلاح مربوط به آن در پاورقی^۲ داده شده است.

در ادامه مطلب، بطور اختصار به شرح چند روش معمول در نجوم و نقشه برداری که برای تعیین طول جغرافیایی یک محل به کار می روند، می پردازیم:

۵-۳. تعیین طول جغرافیایی از طریق اندازه گیری وقت نجومی

در این روش مبنای کار، تعیین وقت نجومی^۱ است که براساس رصد ستارگان در حرکت شبانه روز آنها استوار است. وقت نجومی به تفصیل در فصل هفتم شرح داده شده است. دایره ای که بعنوان مبنا در تعیین وقت نجومی، بکار می رود، نصف النهار سماوی محل^۲ است که از سمت الرأس ناظر و قطبهای سماوی^۳ می گذرد. در حقیقت اگر صفحه نصف النهار محل بر روی زمین را امتداد دهیم، کره سماوی را در دایره عظیمه ای قطع می کند که همان نصف النهار سماوی محل است. روز نجومی فاصله زمانی^۴ بین دو دوگذر پیاپی نقطه اعتدال بهاری^۵، از نصف النهار محل است.

طول جغرافیایی یک محل بر روی زمین برابر با اختلاف بین وقت نجومی آن و وقت نجومی گرینویچ در کشور انگلستان است. در عمل، وقت نجومی یک محل از رصد یک ستاره که مختصات آن، به دقت اندازه گیری شده است، تعیین می گردد.

۵-۴. تعیین طول جغرافیایی از طریق حمل و نقل یک زمان سنج

اصولاً زمان سنج (کرونومتر) ساعتی است که زمان را با دقت زیاد اندازه گیری می کند و بیشتر در دریانوردی برای تعیین موقعیت، در دریا بکار می رود. معمولاً زمان-سنج مطابق وقت گرینویچ میزان می شود، یعنی وقت متوسط گرینویچ را نشان می دهد. هر روز دقت زمان سنج با رادیو مقایسه می شود و لذا میزان تند و یا کند کار کردن آن^۶، در ۲۴ ساعت معلوم می گردد.

در این روش، زمان سنجی که میزان تند و یا کند کار کردن آن دقیقاً معلوم شده، مطابق وقت دقیق یک محل معین، میزان می گردد. آنگاه زمان سنج به محل دیگری که طول جغرافیایی آن را نمی دانیم برده می شود. در محل جدید وقت دقیق محلی از راه مشاهدات نجومی تعیین شده و نتیجه آن با وقتی که زمان سنج نشان می دهد مورد مقایسه قرار می گیرد. با در نظر گرفتن طول مدت انتقال، و در نتیجه، تعیین اندازه مقدار تند و یا کند کار کردن زمان سنج در این مدت، از روی اختلاف وقت نشان داده شده توسط زمان سنج، و وقت تعیین شده از روی مشاهدات نجومی در محل دوم، اختلاف طول جغرافیایی دو محل، محاسبه می شود. البته باید توجه داشت که میزان

1. Sidereal Time

2. Local Celestial Meridian

3. Celestial Poles

4. Interval of Time

5. Vernal Equinox

6. Error

تند و یا کند کار کردن یک زمان سنج، بهنگامی که بصورت ثابت قرار گرفته و یا در حین نقل و انتقال است، برابر نیست. لذا می‌بایست در اندازه‌گیریهای دقیق، این مطلب را درمذ نظر داشت.

این روش، امروزه در نقشه‌برداری، کاربرد ندارد مگر در صورتی که بی‌سیم و یا تلگراف در دسترس نباشد. اما این روش هنوز در دریانوردی برای تعیین طول جغرافیایی بکار می‌رود.

۵-۵. تعیین طول جغرافیایی بوسیله تلگراف

اگر دو محل مورد نظر بوسیله تلگراف با هم ارتباط داشته باشند، می‌توان با ارسال علایم تلگرافی از هردو محل وقت دقیق محلی را، که وسیله کرونومتر نشان داده می‌شود، اعلام کرده و با توجه به متوسط اختلاف وقت بین دو محل، طول جغرافیایی را محاسبه کرد. ارسال علایم از هردو سو و بدست آوردن متوسط دو اختلاف وقت، به منظور حذف اثر وقت تلف شده در مدت ارسال علایم است.

۵-۶. تعیین طول جغرافیایی بوسیله بی‌سیم

توسعه ارسال علایم بی‌سیم، تعیین وقت معادل نصف‌النهار مبدا (گرینیچ) را در تمام نقاط دنیا ممکن ساخته است و در نتیجه، تعیین طول جغرافیایی آسانتر شده است. در حال حاضر علایم بی‌سیم مربوط به اعلام وقت، در نقاط مختلف دنیا و در اوقات معین، ارسال می‌گردد.

اگر وقت متوسط محلی^۱ یک مکانی را بدانیم و هم‌زمان با آن، وقت متوسط گرینیچ^۲ را نیز در دست داشته باشیم، از تبدیل اختلاف وقت به درجه، طول جغرافیایی محل، محاسبه می‌گردد. اگر وقت متوسط محلی از وقت متوسط گرینیچ جلوتر باشد، مکان در مشرق نصف‌النهار گرینیچ، و در صورتیکه از وقت گرینیچ عقب‌تر باشد، در مغرب نصف‌النهار گرینیچ قرار خواهد داشت. تنها مشکل این روش تعیین وقت متوسط گرینیچ در لحظه تعیین وقت متوسط محلی است که این مشکل نیز از طریق گرفتن سیگنال‌های رادیویی ارسالی از گرینیچ، قابل حل است.

در ادامه مطلب فقط بعنوان نمونه به چند روش دیگر که فقط جنبه تاریخی

دارند و در حال حاضر، مورد استفاده نیستند، اشاره می کنیم.

۵-۷. تعیین طول جغرافیایی از طریق رصد ماه و ستاره ای که از نصف النهار یک محل بصورت تقریباً همزمان می گذرند^۱.

۵-۸. تعیین طول جغرافیایی از طریق رصدِ علایم فلکی^۲.

۵-۹. تعیین طول جغرافیایی از طریق فواصل ماه^۳.

جهت یابی - تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی

بعد از تعیین طول و عرض جغرافیایی یک محل، قدم بعدی، برای یافتن جهت قبله، تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی^۱ آن است. و چنانکه خواهیم دید، آن را امتداد شمال و جنوب واقعی^۲ نیز می نامند. همچنین در فصل اول در بخشهای مربوط به تعیین طول و عرض جغرافیایی نقاط ناشناخته - مطلب شماره (۱-۲) و (۱-۵) - هم دیدیم که تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در این گونه موارد نیز لازم بود. در علم جغرافی، نصف النهار جغرافیایی^۳ یک محل، نیمدایره ای فرضی بر روی کره زمین است که بر صفحه استوا عمود بوده، از قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی می گذرد. وقتی که این نیمدایره بر سطح مکانی بر روی زمین تصویر گردد، خط حاصل خط نصف النهار^۴ و یا به عبارت دیگر امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و یا واقعی آن مکان است.

در نجوم، از تصویر نصف النهار جغرافیایی بر کره سماوی، نصف النهار سماوی حاصل می گردد. نصف النهار سماوی که از نقاط شمال و جنوب جغرافیایی افق یک محل و سمت الرأس آن می گذرد، بعنوان نصف النهار نجومی محلی، نامیده می شود. در شکل (۱-۲) نصف النهار نجومی یک محل نمایانده شده است.

در کلاسهای ابتدایی می خواندیم که اگر در حالت ایستاده دستهای خود را به دو طرف و در امتداد شانه ها طوری باز کنیم که دست راست ما به طرف مشرق (محل طلوع آفتاب) و دست چپ ما به طرف مغرب (محل غروب آفتاب) قرار گیرد، روبروی ما جهت شمال و پشت سر ما جهت جنوب خواهد بود. این خود روش ساده ای برای تعیین

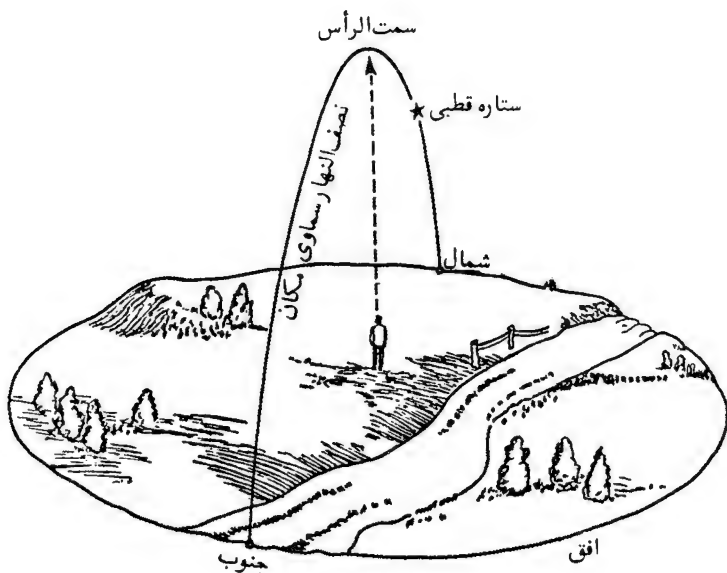
1. Geographical North-South Direction

2. True North-South Direction

3. Geographical Meridian

4. Meridian Line

5. Local Astronomical Meridian



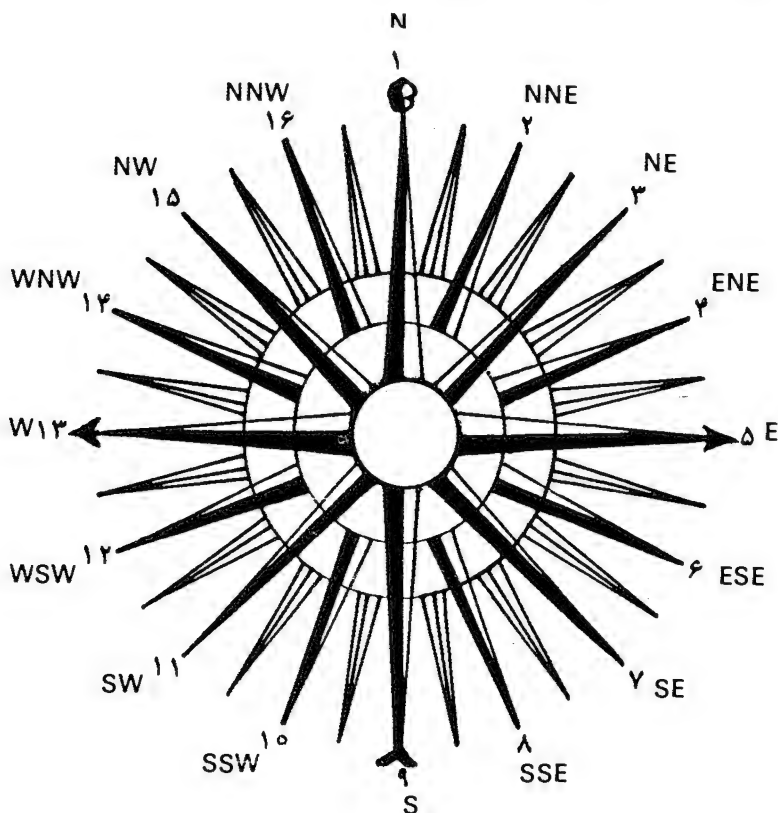
شکل (۲-۱) - نصف النهار سماوی یک محل.

جهات اصلی^۱ و یا جهات چهارگانه است. اما شرط اصلی در این روش، دانستن محل طلوع و غروب آفتاب در افق منطقه است. البته چنانکه بعداً خواهیم دید فقط در اوّل بهار و پاییز است که محل طلوع و غروب خورشید دقیقاً در مشرق و مغرب واقعی ناظر قرار می گیرد. در سایر اوقات محل آنها از مشرق و مغرب واقعی ناظر، فاصله می گیرد بطوریکه در اوّل تابستان و زمستان، در دورترین وضعیت خود نسبت به مشرق و مغرب واقعی ناظر، قرار دارند.

این روش ساده از تعریف جهات اصلی، ناشی شده است. بدین ترتیب که افق هر نقطه، مدار آن محل را در دو نقطه و خط نصف النهار آن را نیز در دو نقطه دیگر قطع می کند؛ بطوریکه خط واصل میان دو نقطه اوّل بر خط واصل میان دو نقطه دوّم عمود است. از دو نقطه اوّل، آنکه در سمت طلوع خورشید است، مشرق یا خاور و آنکه در سوی مقابل آن واقع شده، مغرب یا باختر نامیده می شوند. از دو نقطه دوّم محلی که در طرف چپ شخصی که روبروی مشرق ایستاده است، قرار دارد، شمال و نقطه دیگر را که

در مقابل آن است جنوب می‌گویند.

علاوه بر جهات اصلی، به منظور اینکه امتدادها را با دقت بیشتری تعیین کنند، جهات فرعی^۱ نیز شناسانده شده‌اند. بدین ترتیب که فاصله بین چهار نقطه شمال، جنوب، مشرق و مغرب دایره افق هر محل را به چهار قسمت برابر تقسیم می‌کنند: هر یک از زوایای قائمه میان جهات اصلی به چهار قسمت مساوی دیگر تقسیم می‌شوند که در نتیجه، دوازده نقطه، یا جهت دیگر، بدست می‌آید که به آنها جهات فرعی می‌گویند. اسامی جهات فرعی غیر از جهات اصلی، به ترتیب عقربه‌های ساعت از سمت شمال، بطوری که در شکل (۲-۲) نمایانده شده، عبارت است از: ۱. شمال شمال شرقی



شکل (۲-۲) — جهات اصلی و فرعی.

۲. شمال شرقی ۳. شرق شمال شرقی ۴. شرق جنوب شرقی ۵. جنوب شرقی ۶. جنوب جنوب شرقی ۷. جنوب جنوب غربی ۸. جنوب غربی ۹. غرب جنوب غربی ۱۰. غرب شمال غربی ۱۱. شمال غربی ۱۲. شمال شمال غربی.

علاوه بر روش ساده مذکور، ممکن است از قطب نما برای مشخص کردن جهات اصلی استفاده کرد. اما قطب نما فقط جهت قطبهای مغناطیسی کره زمین را معلوم می کند، که جز در مکان های معین، این جهت منطبق بر جهت شمال و جنوب جغرافیایی نیست. در حقیقت اصطلاح جنوب و یا شمال واقعی^۱ به منظور تشخیص آن از جنوب یا شمال مغناطیسی^۲ وضع شده است.

در این فصل، ابتدا چندین روش ساده برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی ارائه شده، سپس بطور خلاصه روشهای دقیق معمول در نجوم و نقشه برداری، بیان گردیده است

۱. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با مشخص کردن دو ارتفاع برابر خورشید در صبح و بعد از ظهر (روش دایره هندی)

قدما خط نصف النهار یک محل را با مشخص کردن دو ارتفاع مساوی خورشید، در صبح و بعد از ظهر تعیین می کردند. این روش هنوز هم توسط منجمین مورد استفاده قرار می گیرد. مزیت این روش در اینست که در روز روشن قابل اجراست و نیازی به رصد شبانه نیست. اما در عوض، وقت می گیرد و در حدود کمتر از یک روز طول می کشد. چنانکه قبلا در فصل اول در مطلب شماره (۱-۲) و شکل (۴-۱) بیان شد، آزمایش، با رسم چند کمان متحدالمرکز بر روی یک صفحه افقی و علامت گذاری نوک سایه یک میله قائم بر روی همان کمان، در دو وقت صبح و بعد از ظهر صورت می گیرد. علت رسم چند کمان بدانجهت است که بتوان علامت گذاری را در مورد چند کمان انجام داد، که در این صورت متوسط اندازه گیریها امتداد دقیقتری را بدست خواهد داد. و علاوه بر صورت ابری بودن هوا در مورد یک کمان خاص، می توان آزمایش را با کمانهای دیگر ادامه داد.

نکته قابل توجه، اینکه در این روش از تغییرات میل خورشید در طول روز چشم پوشی می شود. لذا اگر آزمایش در اوایل تابستان و زمستان، که تغییرات میل خورشید کم است، صورت گیرد، نتیجه کار دقیقتر خواهد بود. همچنین بعلت طول مدت

آزمایش، ممکن است میزان شکست نور در اتمسفر زمین در صبح و بعد از ظهر یکنواخت نباشد و در نتیجه تولید خطا گردد.

تصحیح مربوط به شکست نور، در فصل ششم آمده است.

مطلب دیگر در این روش مسئله شکل زمین است که کاملاً کروی فرض شده و چنین تصور می شود که امتداد خط شاقول همیشه از مرکز زمین می گذرد که این تصور همیشه درست نیست. چگونگی این مطلب در فصل هشتم بیان شده است.

۲. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی از راه تعیین لحظه ظهر خورشیدی

این روش، ساده بوده و بر تعیین وضعیت خورشید در لحظه ظهر خورشیدی استوار است. چنانکه قبلاً هم گفته شد، در لحظه ظهر خورشیدی، خورشید از صفحه نصف النهار محل گذر می کند. به همین خاطر با تعیین وضعیت خورشید در لحظه ظهر خورشیدی، از راه مشخص کردن امتداد سایه یک میلۀ قائم، می توان امتداد شمال و جنوب جغرافیایی یک محل را تعیین کرد. لذا در این روش، ابتدا می بایست لحظه ظهر خورشیدی را قبلاً مشخص کرد. برای محاسبه وقت ظهر خورشیدی، از فرمول (۱-۳) استفاده می شود. این فرمول در فصل اول داده شده و در فصل هفتم، درباره آن توضیح بیشتری داده شده است. برای روشن شدن نحوه استفاده از فرمول، به ذکر مثالی در این مورد مبادرت می کنیم و سپس مطلب را پی می گیریم:

مثال (۲-۱) - تعیین کنید که در چه ساعتی در محلی با طول جغرافیایی $39^{\circ} 25' 51''$ شرقی در تهران و در روز بیست و دوم مهر ماه، ظهر خورشیدی واقع می شود.

راه حل: نصف النهار استاندارد در ایران $52^{\circ} 5'$ شرقی است و نصف النهار محل که $51^{\circ} 42' 25''$ است، در مغرب نصف النهار استاندارد قرار گرفته است. در لحظه ظهر شرعی $12 = \text{LAT}$ بوده و لذا با استفاده از فرمول (۱-۳) و (۱-۴) خواهیم داشت:

$$12 = \text{ST} + \text{EOT} - \text{LA}$$

$$\text{LA} = 4 \times (52/5 - 51/4225) = 4/29 \text{ دقیقه}$$

اندازه EOT در روز بیست و دوم مهر ماه (چهاردهم اکتبر)، با استفاده از جدول (۷-۳) در فصل هفتم، برابر با $13 +$ دقیقه و 47 ثانیه است پس:

$$12 = \text{ST} + 13/28333 - 4/29$$

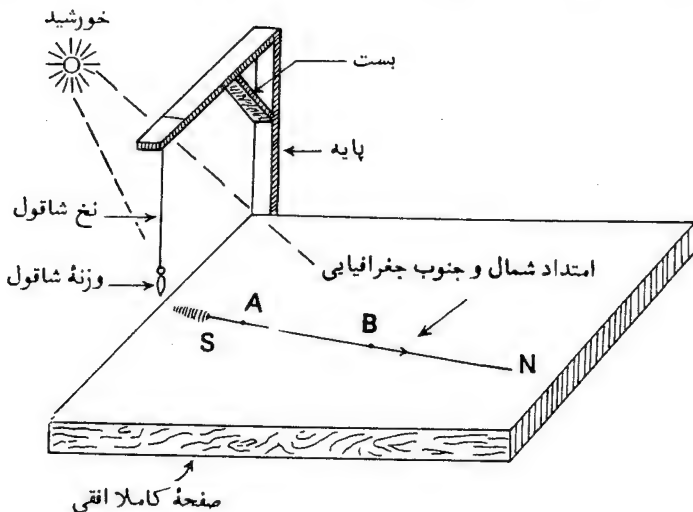
ST = ۵۰/۵۰۶۶۷ دقیقه ۱۱ ساعت =

ST = ۳۰/۴ ثانیه ۵۰ دقیقه ۱۱ ساعت =

بنابراین در محل مذکور، در زمانی که یک ساعت میزان شده، ساعت ۱۱ و ۵۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه را نشان می دهد، خورشید از نصف النهار محل گذر می کند. و چنانکه می بینیم در لحظه ظهر خورشیدی، ساعت، لزوماً ۱۲ را نشان نمی دهد.

این مثال در حقیقت، نحوه محاسبه تقریبی ظهر شرعی را مشخص می سازد. البته با بکار بردن مقادیر دقیقتر تعدیل زمان که از جدول نجومی، قابل استخراج است، می توان به جواب دقیقتری رسید. جا دارد که مقادیر دقیق تعدیل زمان، سالیانه استخراج شده و در اختیار عموم قرار داده شود.

پس از تعیین لحظه ظهر خورشیدی، مطابق شکل (۳-۲)، صفحه ای کاملاً افقی را انتخاب می کنیم و در کنار آن یک شاقول توسط یک پایه قرار می دهیم. باید توجه داشت که در لحظه تعیین امتداد سایه نخ شاقول، شاقول کاملاً بی حرکت باشد. لذا می بایست وزنه شاقول تا حدی سنگین باشد که نوسان آن زودتر گرفته شود. در مرحله بعد ساعت خود را دقیقاً مطابق وقت رادیو میزان می کنیم و چند دقیقه قبل از وقت محاسبه شده ظهر خورشیدی، در کنار شاقول می ایستیم. سپس درست در لحظه محاسبه شده امتداد سایه نخ شاقول را بر روی صفحه مشخص می سازیم. بدین طریق که دو



شکل (۳-۲) - تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در لحظه ظهر خورشیدی.

نقطه مانند A و B را بر روی سایهٔ مورد نظر تعیین کرده، سپس آنها را بوسیلهٔ یک خط مستقیم بیکدیگر متصل می‌کنیم. خط AB امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل است. جهت شمال جغرافیایی نیز مشخص است، چه، سایه در نیم کرهٔ شمالی^۱ بطرف شمال قرار می‌گیرد و در نیم کرهٔ جنوبی^۲، بسمت جنوب واقع می‌شود.

این یکی از روشهای ساده و دقیق تعیین خط نصف‌النهار یک محل است و دیگر نیازی به رصد ستارهٔ قطبی در شب و وسایل نجومی نیست. بدین ترتیب بمقدار زیادی در وقت مورد لزوم برای محاسبه و رصد ستاره، صرفه‌جویی می‌شود. البته در این روش نیز فرض بر اینستکه زمین کاملاً کروی بوده و امتداد شاقول از مرکز آن می‌گذرد.

۳. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، با مشخص کردن کوتاه‌ترین طول سایهٔ یک میلهٔ قائم

در این روش، طول سایهٔ یک میلهٔ قائم، بر روی یک صفحهٔ کاملاً افقی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. چنانکه می‌دانیم، طول سایه، در ساعات اولیهٔ صبح درازتر بوده و بطرف مغرب متمایل است. هرچه آفتاب بالاتر می‌آید طول سایه کوتاهتر شده و در نیم کرهٔ شمالی بسوی شمال قرار می‌گیرد. در ساعات اولیهٔ بعد از ظهر، طول سایه مجدداً افزایش یافته، بطرف مشرق متمایل می‌گردد. حداقل طول سایه، در لحظهٔ گذر خورشید از نصف‌النهار محل صورت می‌گیرد. بنابراین در لحظه‌ای که طول سایهٔ میلهٔ قائم بر روی صفحهٔ افقی به حداقل خود می‌رسد، لحظهٔ ظهر خورشیدی می‌باشد و امتداد سایه، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی است.

این روش در حقیقت توسط مسلمین برای تعیین ظهر شرعی بکار گرفته می‌شود که توجه به جهت سایه در لحظهٔ ظهر شرعی خود نیز می‌تواند در پیدا کردن جهت قبله مورد استفاده قرار گیرد.

در این روش بیشترین ارتفاع خورشید بعنوان ارتفاع نصف‌النهار در نظر گرفته می‌شود. اما در حقیقت بعلت تغییر میل خورشید، بیشترین ارتفاع خورشید در یک روز معین، دقیقاً برابر ارتفاع نصف‌النهار آن، نیست. اما تفاوت بین بیشترین ارتفاع (کوتاه‌ترین طول سایه) و ارتفاع نصف‌النهار (ظهر خورشیدی) خورشید، معمولاً در حدود کسری از ثانیه است و در آزمایشاتی این چنین کاملاً می‌تواند قابل صرف‌نظر.

کردن باشد. البته اگر این آزمایش در اوایل زمستان و یا تابستان صورت گیرد، بعلت کم بودن تغییرات میل خورشید در این ایام، اثر این خطا نیز حذف می‌گردد.

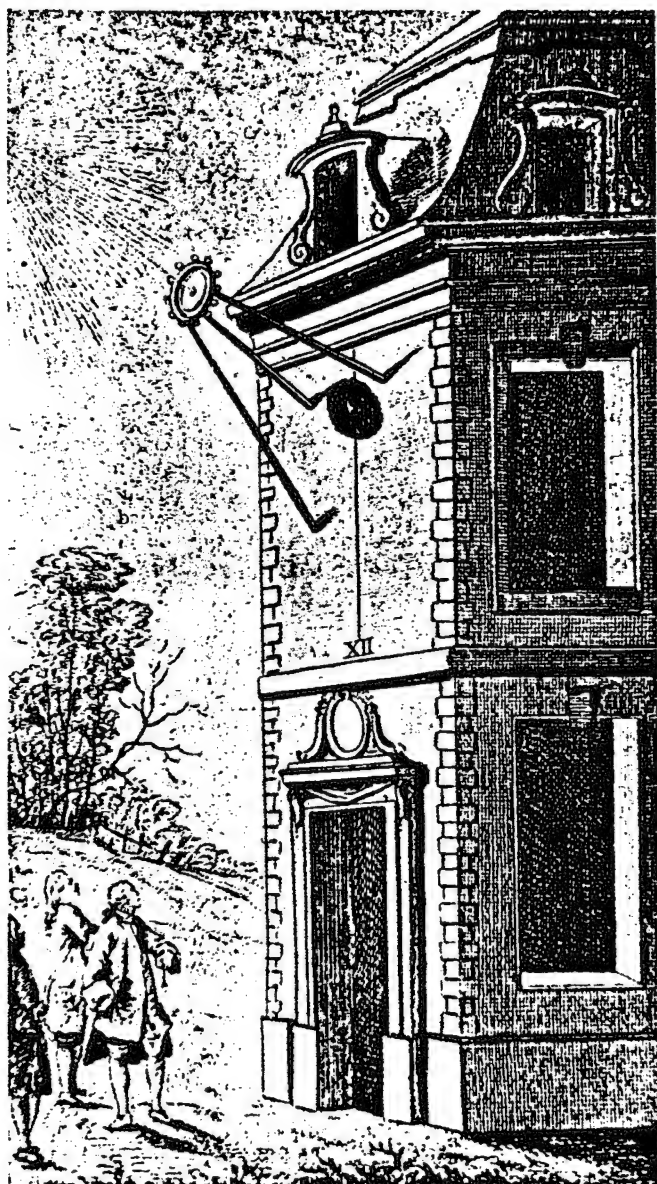
علاوه بر مسلمین، توجه به لحظه ظهر خورشیدی نزد سایر اقوام، با نام علامت ظهر^۱ نیز مرسوم بوده است. علامت ظهر از نظر تعطیل کار در وسط روز و وقت ناهار اهمیت داشته است. مهاجرین اولیه در آمریکا، قبل از معمول شدن ساعتهای مکانیکی دقیق، اغلب در جلو خانه خود، در یک مکان آفتابگیر، علامت ظهر را نصب می‌کردند. این بدانجهت بود که کدبانو بموقع مردان را برای صرف ناهار به منزل فراخواند. هنوز هم علامت ظهر در خانه‌های قدیمی بچشم می‌خورد که گاهی هم ساکنین فعلی آنها از کاربرد آن اطلاعی ندارند. در شکل (۴-۲) علامت ظهر بر سر در یک ساختمان در اروپا، مربوط به دوران قرون وسطی^۲ (تقریباً سال‌های ۵۰۰ تا ۱۴۰۰) نشان داده شده است. در این شکل عدد ۱۲ که با اعداد رومی^۳ (XII) نوشته شده نمایانگر ظهر خورشیدی است و در این علامت، بجای استفاده از سایه، از یک شعاع باریک نور خورشید استفاده شده است. وقتی که این شعاع، بر خط قائم موجود در صفحه امی افتاده، لحظه ظهر خورشیدی بوده است. در شکل (۵-۲) نیز علامت ظهر بر دیوار یک قلعه در فرانسه نمایانده شده است.

علامت ظهر، در شکل ساده آن، از یک خط مستقیم بر سطحی صاف تشکیل یافته است. در لحظه‌ای که خورشید بر روی نصف النهار محل قرار می‌گیرد، سایه یک شی قائم بر آن منطبق می‌گردد. این خط مستقیم معمولاً بر کف اطاقهای آفتابگیر و یا کف درگاه پنجره^۴، رسم می‌شد که سایه لبه قائم چهارچوب پنجره، در لحظه ظهر خورشیدی بر روی آن می‌افتاد. گاهی نیز از سایه یک ستون قائم در بالکن ساختمان استفاده می‌شد. همچنین خط مستقیم علامت ظهر، گاهی در محوطه ساختمان، در یک محل آفتابگیر بر زمین مسطح رسم می‌شد، بطوریکه سایه یک میله قائم، مثلاً میله یک پرچم، در لحظه ظهر خورشیدی، بر روی آن منطبق گردد.

با این تفصیل، خط علامت ظهر، همان خط نصف النهار و یا امتداد شمال و جنوب جغرافیایی است که سایه یک شی قائم، در لحظه ظهر خورشیدی، کاملاً بر روی آن قرار می‌گیرد. امروز هم هر کس می‌تواند در محوطه خانه خود، در اطاق و یا بالکن آن اقدام به رسم علامت ظهر کند. کافی است که لحظه ظهر خورشیدی را مطابق آنچه

1. The Noon Mark
3. Roman Numeral

2. Medieval (Middle or Dark Ages)
4. Window Sill



شکل (۲-۴) — علامت ظهر بر سردر یک ساختمان در اروپا مربوط به قرون وسطی.

که در مثال (۲-۱) آمد، برای روز معین محاسبه کند و در آن ساعت، در کنار سایه لبه



شکل (۵-۲) — علامت ظهر بر دیوار یک قلعه در کشور فرانسه.

قائم چهارچوب درو یا پنجره و یا ستون و دیوار، خطی مستقیم بر روی کف، رسم سازد؛ در نتیجه، در تمام روزهای دیگر سال، وقتی که کنار سایه شی قائم مزبور، بر روی خط

رسم شده می افتد، لحظه ظهر خورشیدی و یا شرعی است. خود امتداد خط مستقیم نیز در جهت یابی قبله، مورد استفاده خواهد داشت. ممکن است در مواردی نیز خط علامت ظهر را بر روی کفپوش اطاق و یا بالکن، توسط مصالح ساختمانی و بصورت نواری باریک ساخت. مثلاً امتداد خط مربوط را می توان با سنگفرشی با رنگ روشنتر ساخت و یا در کفپوش مربوط، کنده کاری کرد که امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، برای همیشه باقی بماند.

حتی اگر چنین علامتی دقیقاً مشخص شده باشد، می توان بوسیله آن، ساعت خود را نیز کنترل کرد. زیرا چنانکه گفتیم با استفاده از فرمولهای مربوط می توان لحظه ظهر خورشیدی را در هر روز حساب کرد و لذا در موقع افتادن سایه بر روی خط علامت ظهر، ساعت، می بایست تقریباً زمان محاسبه شده را نشان دهد. البته برای این کار، لازم است که طول جغرافیایی محل استقرار علامت ظهر را بدست آورده باشیم.

بجای سایه یک شی قائم، ممکن است از اشعه باریک نور خورشید استفاده کرد. مثلاً اگر یک قطعه مقوا یا یک صفحه کاغذ سیاه را به شیشه پنجره یک اطاق آفتابگیر بچسبانیم و سپس در قطعه مقوا یا صفحه کاغذ سوراخ کوچکی ایجاد کنیم، نور خورشید بهنگام عبور از این سوراخ، یک لکه نورانی کوچک بر روی کف اطاق خواهد انداخت. حال اگر زمان ظهر خورشیدی را برای یک روز زمستانی محاسبه کنیم و در این لحظه، جای لکه نور خورشید را بر روی کف اطاق، علامت بگذاریم و در نوبت دیگر در یک روز تابستانی عمل را تکرار و دو نقطه علامت گذاری شده را به همدیگر وصل کنیم، خط مستقیم حاصل، علامت ظهر است و در تمام روزهای سال، لکه نورانی، به هنگام ظهر شرعی بر روی آن خواهد افتاد. لکه نورانی، بهتر از سایه، قابل تشخیص است و بدینجهت است که این روش برتری دارد. و دیدیم که در علامتهای ظهر بکار رفته در بناهای قدیمی — موضوع شکل‌های (۲-۴) و (۲-۵) — از این روش استفاده شده است.

۴. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از قطب نما

قطب نما، چنانکه از اسمش پیداست، جهت قطبها را معلوم می کند. و آن عبارت از محفظه مدّرجی است که در داخلش یک عقربه مغناطیسی بر روی یک پایه

نوک تیز، به صورتی نصب شده است که می تواند بر روی آن، بحالت افقی، آزادانه دوران کند. دوسر این عقربه در حالت سکون، جهت قطب شمال و جنوب مغناطیسی زمین را نشان می دهد.

زمین دارای یک میدان مغناطیسی^۱ است که شبیه میدان مغناطیسی حاصل از یک میله عظیم مغناطیسی است که محور آن از مرکز زمین گذر کرده و با محور چرخشی زمین تقریباً زاویه ای برابر ۲۰ درجه می سازد. این میله مغناطیسی فرضی، کره زمین را در دو نقطه، به نام قطبهای مغناطیسی^۲، قطع می کند. از این دو نقطه، آنکه نزدیک به قطب شمال جغرافیایی است، به نام قطب شمال مغناطیسی^۳، و دیگری که نزدیک قطب جنوب جغرافیایی است، به نام قطب جنوب مغناطیسی^۴ موسوم است. بنابراین کلمات شمال و جنوب در این مورد فقط دلالت بر وضعیت قطبهای مغناطیسی داشته و ارتباطی به قطبیت^۵ (پولاریته) ندارند. چنانکه می دانیم دوسر یک میله آهن ربا^۶ نیز به نام قطبهای شمال و جنوب آن موسوم بوده و قطبهای همنام همدیگر را جذب و غیرهمنام یکدیگر را دفع می کنند.

در شکل (۲-۶)، میله فرضی مغناطیس مذکور در بالا، تصویر شده و خطوط خطچین، خطوط نیروی مغناطیس^۷ است که نمایانگر امتداد عقربه مغناطیسی نصب شده در جاهای مختلف، می باشد. در حقیقت محل قطبهای شمال و جنوب مغناطیسی، بر روی کره زمین، دقیقاً روبروی هم نیستند.

منشاء میدان مغناطیسی^۸ زمین، شناخته شده نیست ولی ممکن است با چرخش زمین و احتمالاً با جریانهای الکتریکی در داخل هسته آن، ارتباط داشته باشد. طبیعت مغناطیسی زمین، انسان را برای قرنهای به اعجاب واداشته بود. اشخاصی که سفر می کردند، دریافته بودند که قطعات مغناطیس طبیعی^۹ و یا قطعات آهنی که با مغناطیس طبیعی مالش داده شده باشند، در صورتی که آزادانه بتوانند بچرخند، در جهت امتداد شمال و جنوب قرار می گیرند.

کریستف کلمب^{۱۰} با کمک یک قطبنمای ابتدایی که از یک عقربه مغناطیسی شناور بر روی آب تشکیل شده بود، سفر دریایی خود را آغاز کرد. عقربه هر قطبنمایی،

1. Magnetic Field

2. Magnetic Poles

3. North Magnetic Pole

4. South Magnetic Pole

5. Polarity

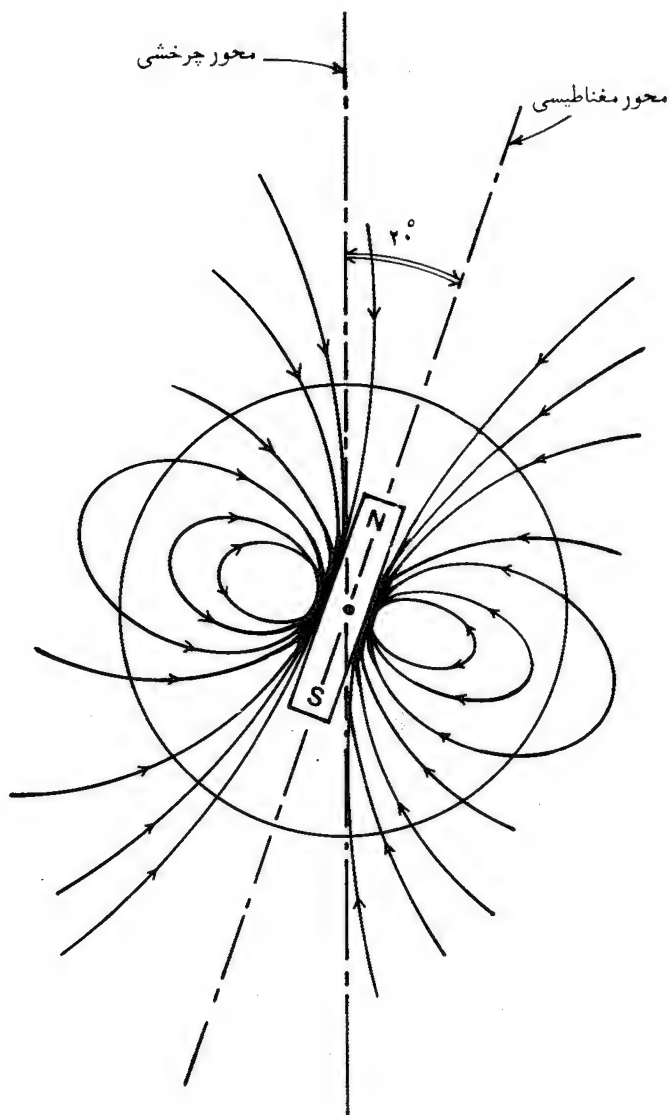
6. Bar Magnet

7. Magnetic Lines of Force

8. Magnetic Field

9. Lodestone

10. Christopher Columbus

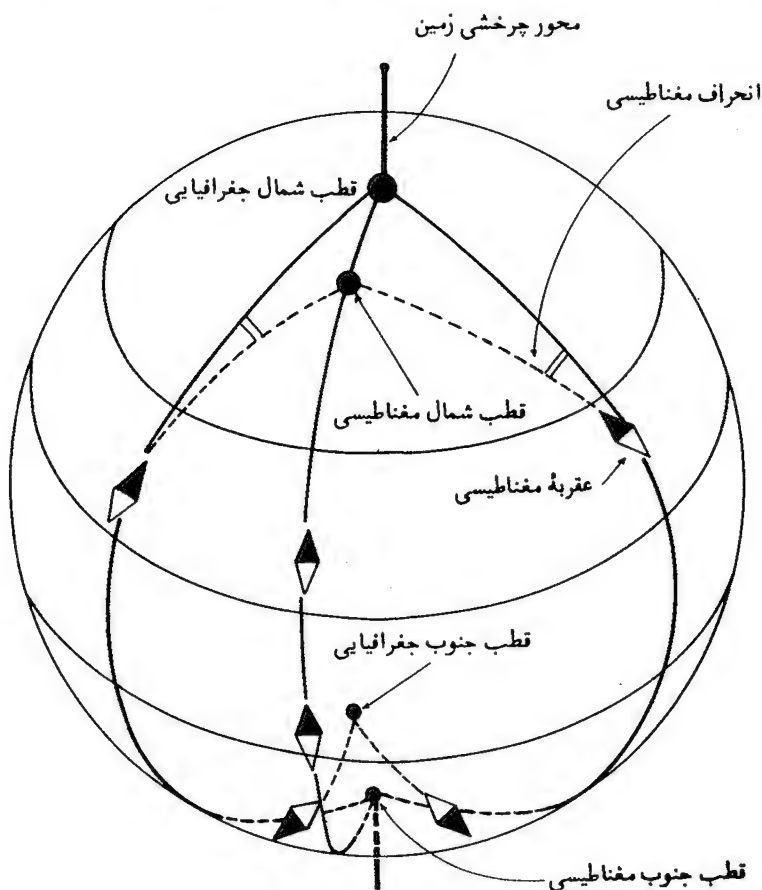


شکل (۲-۶) — میدان مغناطیسی زمین. این میدان همانند یک میله مغناطیسی فرضی نشان داده شده که محور آن با محور چرخشی زمین تقریباً زاویه 20° درجه می سازد.

در امتداد خطوط نامریی نیروی مغناطیسی که زمین را احاطه کرده اند، قرار می گیرد. در

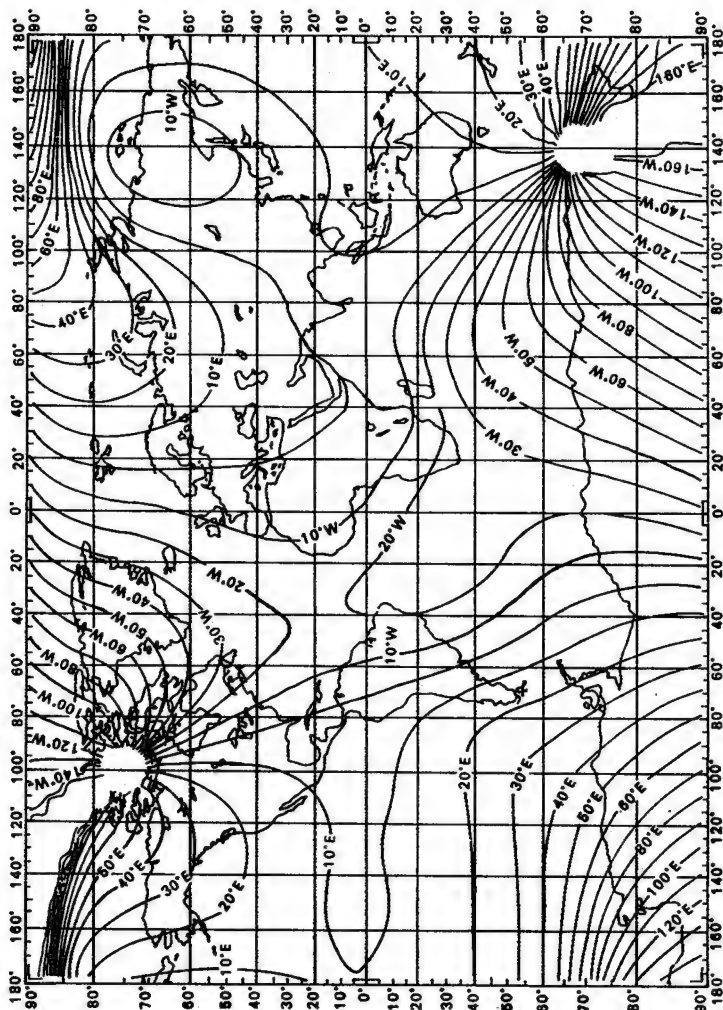
آزمایشگاه، تکه‌های ریز آهن در امتداد خطوط معینی در اطراف یک میله مغناطیسی قرار می‌گیرند که معرف خطوط نیرو هستند.

همچنانکه از شکل (۲-۶) پیداست، قطبهای مغناطیسی و قطبهای جغرافیایی بر هم، منطبق نیستند. در نتیجه، مطابق آنچه که در شکل (۲-۷) نشان داده شده،



شکل (۲-۷) - انحراف مغناطیسی.

عقربه مغناطیسی، دقیقاً بطرف قطب شمال جغرافیایی قرار نمی‌گیرد. اما بعلاوه نزدیک بودن نسبی قطب شمال مغناطیسی به قطب شمال جغرافیایی، استفاده از قطب‌نما در



شکل (۲-۸) - نقشه مغناطیسی جهان در ۱۹۶۵.

جهت یابی، ممکن شده است. زاویه بین جهت قطب شمال مغناطیسی، که توسط قطب نما نشان داده می شود، و جهت قطب شمال واقعی، به نام زاویه میل مغناطیسی و یا انحراف مغناطیسی نامیده می شود.

این زاویه، در هر نقطه ای بر روی زمین مشخص شده است و لذا با توجه به اندازه آن، می توان امتداد شمال و جنوب جغرافیایی را با استفاده از قطب نما، مشخص کرد.

1. Magnetic Declination

عقربه مغناطیسی، در پاره‌ای نقاط بطرف مشرق قطب شمال جغرافیایی و در دیگر نقاط بطرف مغرب آن متمایل می‌گردد. به عبارت دیگر، انحراف مغناطیسی در بعضی جاها، شرقی و در بعضی دیگر غربی است. در بعضی مکانها هم مقدار انحراف صفر و در نتیجه دو جهت، بر هم منطبق اند.

در بعضی کشورها، نقشه‌های هم میل مغناطیسی^۱ در دسترس است که از روی آنها می‌توان اندازه انحراف مغناطیسی را برای هر مکانی بدست آورد. در شکل (۲-۸) نقشه مغناطیس جهان^۲ داده شده که مربوط به سال ۱۹۶۵ است. با توجه به این شکل مختصات قطبهای مغناطیس به شرح زیر است.

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	
غربی ۱۰۰°	شمالی ۷۵°/۵	قطب شمال مغناطیسی
شرقی ۱۴۰°	جنوبی ۶۶°/۵	قطب جنوب مغناطیسی

قطبهای مغناطیسی در یک جا ثابت نیستند، بلکه جای آنها تغییر می‌کند. به همین سبب میل مغناطیسی، سالیانه به مقدار کمی تغییر می‌کند. بنابراین در بیشتر مکانها، عقربه مغناطیسی قطب نما دقیقاً همان جهت ده سال پیش را نشان نمی‌دهد.

انحراف مغناطیسی با ابزاری^۳ به نام انحراف‌سنج مغناطیسی^۴ اندازه‌گیری می‌شود که در آزمایشگاههای مغناطیسی^۵ و در بررسی میدانهای مغناطیسی بکار می‌رود. جالب است بدانیم که از بررسیهای انجام شده، بر روی سنگواره‌های (فسیل‌های) مغناطیسی، نتیجه شگفت‌آوری بدست آمده بدینمعنی که محل قطبهای مغناطیسی، نه تنها ثابت نبوده بلکه در طول تاریخ حیات زمین، چندین بار جای آنها با هم عوض شده است.

شدت میدان مغناطیسی^۶، با واحدی به نام گاوس^۷ بیان می‌شود. قانون بنیادی نیرو در مغناطیس (قانون کولمب^۸ یا کولن) شبیه قانون نیوتن در جاذبه است؛ نیروی دافعه‌ای بین دو قطب مشابه وجود دارد که متناسب با شدت قطبها بوده و با مربع فاصله آنها نسبت معکوس دارد. دو قطب واحد و همنام — هر دو شمال و یا هر دو جنوب — در فاصله یک سانتیمتری، یکدیگر را با نیرویی برابر یک دین^۹ دفع می‌کنند.

قطبهای با اندازه واحد و غیر همنام در فاصله یک سانتیمتری، یکدیگر را با نیرویی برابر یک دین جذب می‌کنند. شدت میدان یک مغناطیس، در یک نقطه معین،

1. Isogonic Maps

2. World Magnetic Chart

3. Instrument

4. Declinometer

5. Magnetic Observatories

6. Magnetic Field Strenght

7. Gauss

8. Coulomb's Law

9. Dyne

برابر نیرویی است که بر قطب با اندازه واحد، در آن نقطه اعمال می شود. شدت میدان مغناطیسی زمین در محل قطب مغناطیسی برابر با $0/63$ گاوس است. به عبارت دیگر، به یک قطب واحد، در قطب شمال مغناطیسی نیرویی برابر $0/63$ دین وارد می شود.

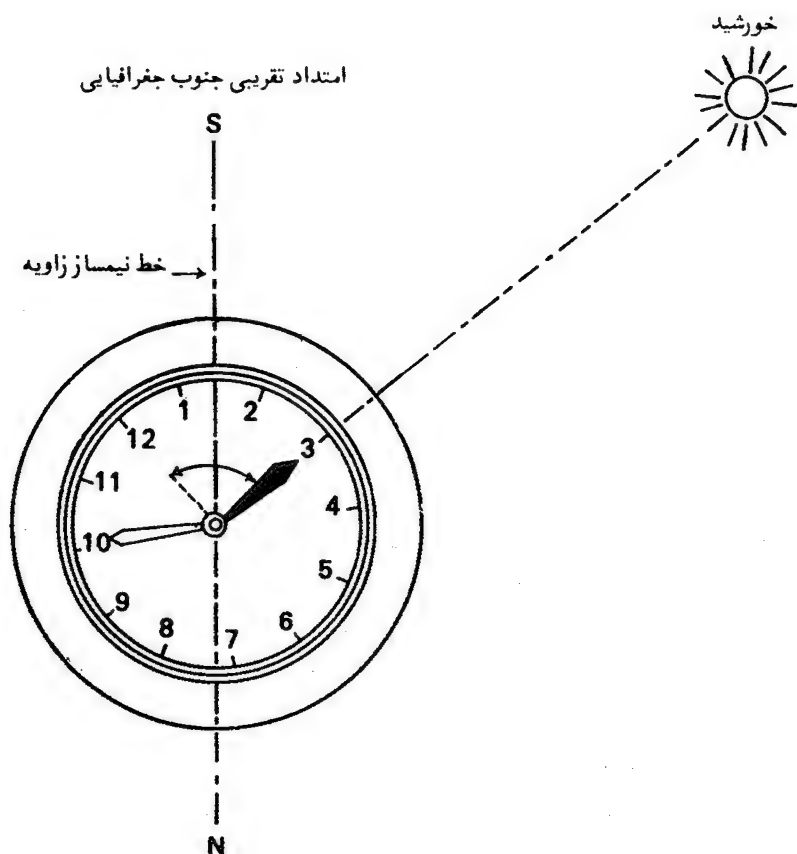
در استوا، شدت میدان مغناطیسی برابر $0/31$ گاوس است. بنابراین زمین، دارای میدان مغناطیسی نسبتاً ضعیفی است. در نتیجه، وقتی که در جهت یابی، از قطب نما استفاده می شود، باید از عدم تأثیر میدانهای موضعی مطمئن بود. میدان مغناطیسی ناشی از خطوط انتقال نیروی برق، ماشینهای الکتریکی، وسایل و ساختمانهای فولادی مجاور و ذخایر معدنی در منطقه، می تواند عقربه قطب نما را بمقدار زیادی منحرف سازد.

بنابراین برای استفاده از قطب نما در جهت یابی، می بایست از اندازه انحراف مغناطیسی در منطقه، خبر داشت و امتداد نشان داده شده توسط آن را تصحیح کرد. همچنین جهت یابی را به دور از میدانهای موضعی به انجام رساند. البته این امر در صورت وجود معادن زیرزمینی شناخته نشده، قدری مشکل است و می بایست با مطالعه قبلی از وجود و مقدار تأثیر آنها، آگاه شد.

در ایران هم در مورد میزان انحراف مغناطیسی در نقاط مختلف، مطالعاتی توسط مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران صورت گرفته است که دسترسی به آنها از طریق مؤسسه مربوط، امکان دارد. میزان انحراف مغناطیسی در تهران، در محلی با طول جغرافیایی 51° و 22° و عرض جغرافیایی 35° و $2/44^{\circ}$ ، برابر 3° و $9/46^{\circ}$ بطرف مشرق و یا تقریباً در حدود 4° شرقی بوده است. البته چنانکه قبلاً هم اشاره شد، میزان انحراف مغناطیسی، سالیانه بمقدار کمی تغییر می کند.

۵. جهت یابی تقریبی از طریق استفاده از ساعت

این روش، معمولاً توسط پیشاهنگان، مورد استفاده قرار می گیرد، بدین ترتیب که ساعت مچی بر کف دست و یا بر روی یک سطح، طوری به حالت افقی قرار داده می شود که صفحه ساعت بطرف بالا و عقربه ساعت شمار به طرف خورشید قرار گیرد. قرار گرفتن عقربه ساعت شمار بطرف خورشید بصورتی است که سایه عقربه کاملاً در زیر آن بیفتد. سپس مطابق آنچه که در شکل (۹-۲) نشان داده شده، جهت تقریبی جنوب



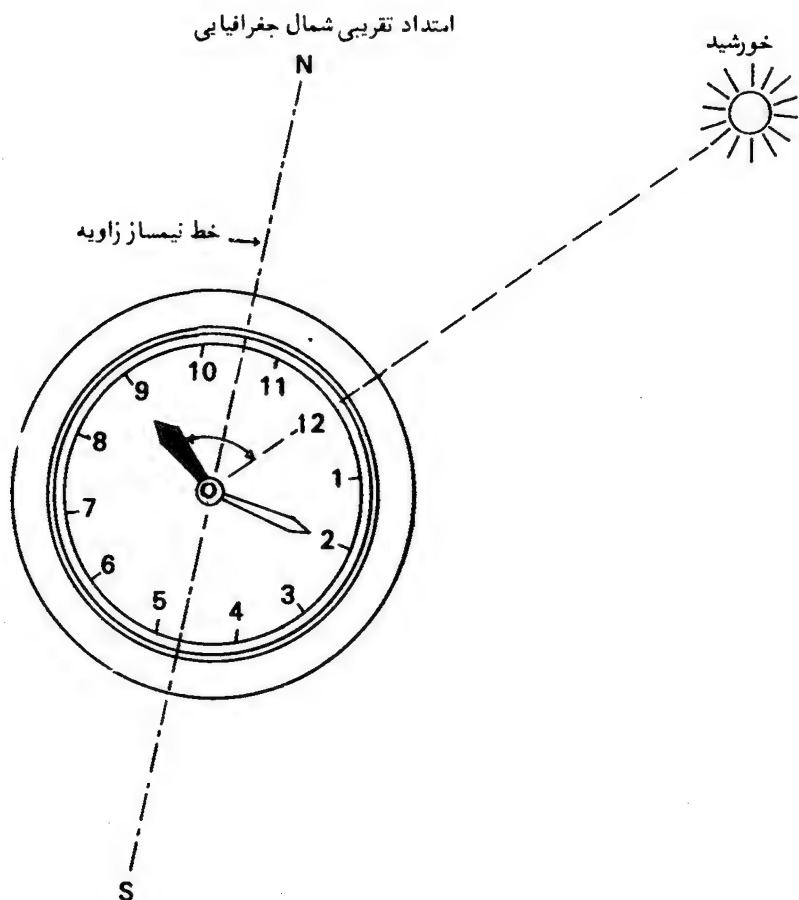
شکل (۹-۷) — تعیین امتداد تقریبی جنوب جغرافیایی با استفاده از ساعت، در نیمکره شمالی.

جغرافیایی، در امتداد نیمساز زاویه عقربه ساعت شمار با خط ساعت ۱۲ خواهد بود. البته این صورت فقط برای نیم کره شمالی زمین است.

در مورد نیمکره جنوبی، مطابق شکل (۱۰-۷)، خط ساعت ۱۲ بطرف خورشید قرار داده می شود و نیمساز زاویه عقربه ساعت شمار و خط ساعت ۱۲، امتداد تقریبی شمال جغرافیایی خواهد بود.

با توجه به چگونگی حرکت ظاهری روزانه خورشید^۱ بر پهنه آسمان، که در

1. Daily Apparent Movement of the Sun



شکل (۲-۱۰) — تعیین امتداد تقریبی شمال جغرافیایی با استفاده از ساعت، در نیمکره جنوبی.

مطلب بعدی بیان شده، کاربرد این روش فقط در مناطق بین $۲۳/۵$ و $۶۶/۵$ درجه عرض شمالی در نیمکره شمالی، و مناطق بین $۲۳/۵$ و $۶۶/۵$ درجه عرض جنوبی در نیمکره جنوبی، یعنی در مناطق معتدله، ممکن است.

۶. جهت‌یابی تقریبی با تعیین طرف آلتاب زده تنه درختان (روش دهقانان)

گردش روزانه خورشید و تابش آن، همیشه مورد توجه دهقانان بوده است.

با توجه به این حرکت، میزان تابش خورشید بر تنه درختان، در تمام سطح آنها، یکسان نیست. لذا در منطقه ما — در نیمکره شمالی — پوست درختان، بویژه درخت بید و چنار، در طرف جنوب آنها، آفتاب زدگی بیشتری دارند و در طرف شمال سبزترند و کمتر حالت آفتاب زدگی دارند. در نتیجه، دهقانان با توجه به همین مطلب ساده، جهات خود را، البته بصورت تقریبی تعیین می کنند.

در اینجا، بیان چگونگی گردش ظاهری روزانه خورشید بصورتی که در مناطق مختلف کره زمین مشاهده می شود، لازم بنظر می رسد. در منطقه معتدله شمالی، خورشید همیشه در وسط روز در طرف جنوب ناظر، و در منطقه معتدله جنوبی^۱، در طرف شمال او قرار می گیرد. در منطقه حاره^۲ خورشید وسط روز، گاهی در طرف شمال و گاهی در سمت جنوب و بعضی اوقات هم بر بالای سر ناظر، بر حسب عرض جغرافیایی محل، قرار می گیرد. در مناطق منجمده شمالی^۳ و جنوبی، خورشید گاهی در طول شبانه روز بر پهنه آسمان قرار دارد و زمانی دیگر، بر حسب فصل و عرض جغرافیایی محل، موقعیتی مانند مناطق معتدله، پیدا می کند و ایامی هم اصلا طلوع نمی کند و شب طولانی، بر منطقه قطبی حکمفرماست. چگونگی حرکت ظاهری روزانه خورشید، برای مناطق با عرض جغرافیایی مشخص و در فصول مختلف، در شکل‌های (۱۱-۲۱ الی ۲۱-۲) برای نیمکره شمالی و جنوبی، مشخص شده است. در این شکل‌ها، نقطه O محل ناظر و Z نمایانگر سمت الرأس اوست. چگونگی حرکت ظاهری خورشید در قطب شمال و جنوب زمین، در فصل پنجم کتاب، در مطلب مربوط به تعیین جهت قبله در قطب شمال آمده است و لذا شکل‌های مذکور شامل این مناطق نیستند.

با توجه به این شکل‌ها، درمی یابیم که چرا طرف جنوبی ساقه بلند درختان (البته در صورتی که در سایه قرار نداشته باشند) در منطقه معتدله شمالی بیشتر آفتاب زده می باشد ولی در منطقه معتدله جنوبی، طرف شمالی آنها دارای این خاصیت است.

۷. جهت یابی از طریق یافتن ستاره قطبی در نیمکره شمالی و صورت فلکی صلیب جنوبی^۴ در نیمکره جنوبی

چنانکه در بخش‌های دیگر خواهد آمد، تعیین امتداد دقیق شمال جغرافیایی از

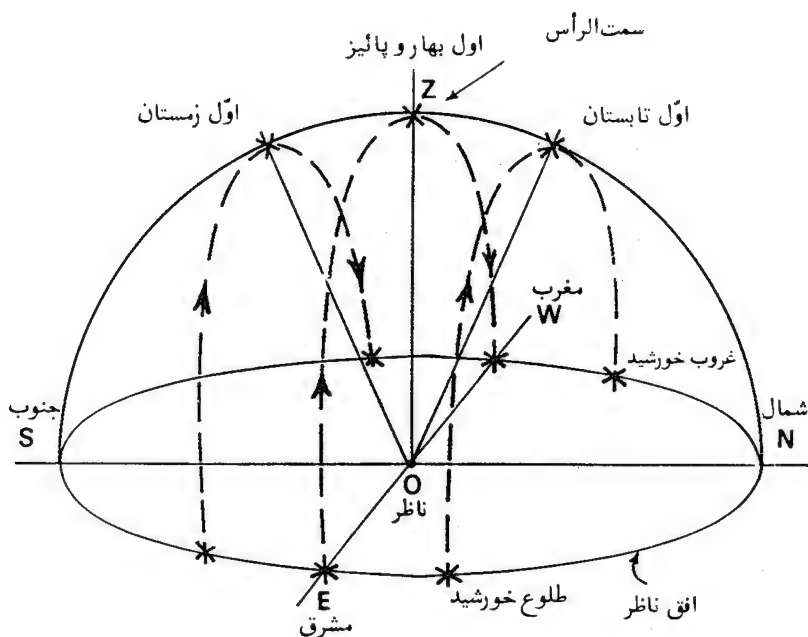
1. North Temperate Zone

2. South Temperate Zone

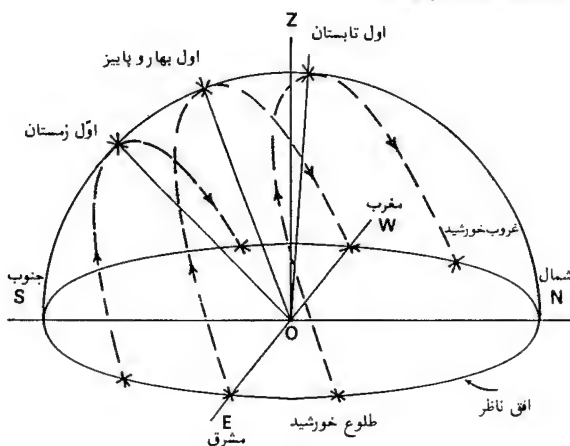
3. Torrid Zone

4. North Frigid Zone

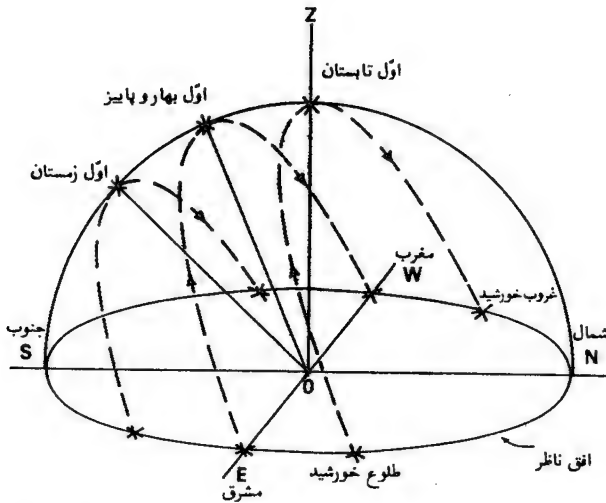
5. Crux (The Southern Cross)



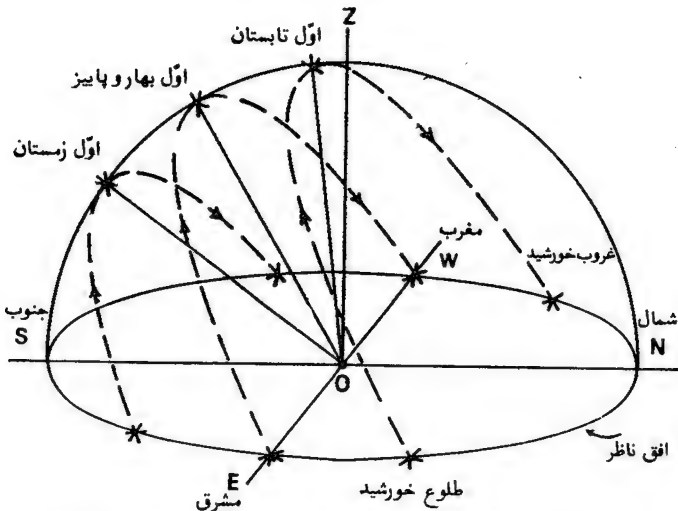
شکل (۲-۱۱) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در آسمان در خط استوا ($\varphi = 0^\circ$).
در اول بهار و پاییز محل طلوع و غروب خورشید در مشرق و مغرب حقیقی و در وسط روز در
سمت الرأس ناظر قرار می گیرد.



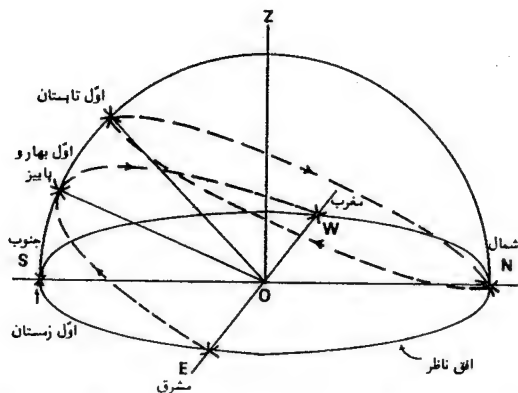
شکل (۲-۱۲) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در آسمان در عرض جغرافیایی 20° درجه
شمالی.



شکل (۲-۱۳) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید بر روی مدار رأس السرطان ($23^{\circ}45'N$) در روز اول تابستان، خورشید گرچه در هنگام طلوع در طرف شمال نقطه مشرق جغرافیایی قرار دارد، اما در وسط روز در سمت الرأس ناظر قرار می گیرد.



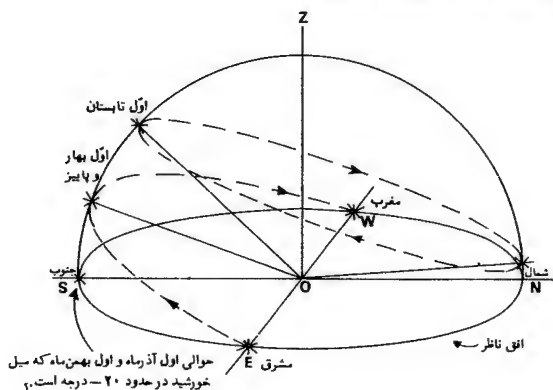
شکل (۲-۱۴) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در آسمان در عرض شمالی 30° درجه. در اول تابستان گرچه خورشید در طرف شمال مشرق جغرافیایی طلوع می کند، اما بهنگام نیمروز در وسط آسمان بطرف جنوب سمت الرأس ناظر قرار می گیرد.



شکل (۲-۱۵) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در مدار شمالگان^۱ (مدار قطبی شمال)، $66^{\circ}55'N$.

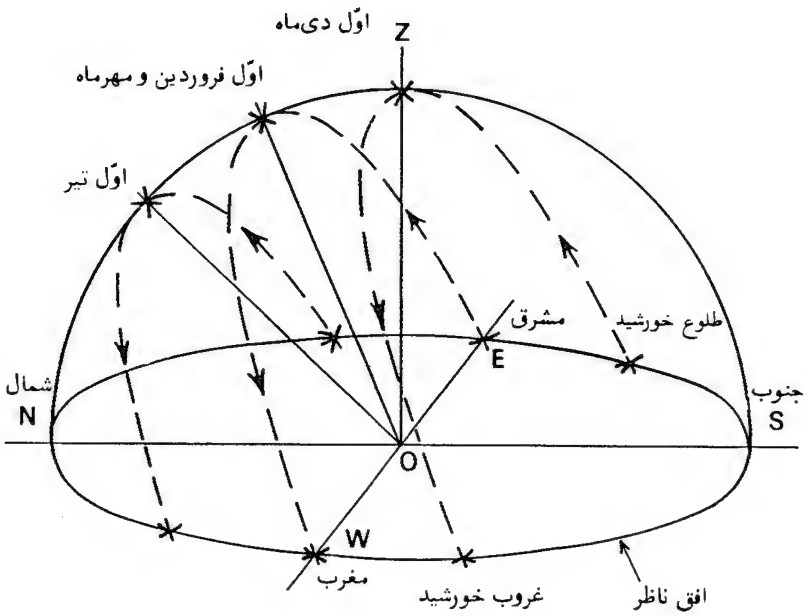
در اول تابستان خورشید در تمام طول شبانه روز برپهنه آسمان قرار دارد و در حقیقت، از نقطه شمالی در افق ناظر بالا آمده و بعد از طی یک دایره در ۲۴ ساعت، دوباره به همان نقطه برمی گردد.

در اول زمستان خورشید در مدت کوتاهی در نقطه جنوب در افق ناظر خواهد بود و در حقیقت طول شب در حدود ۲۴ ساعت است.

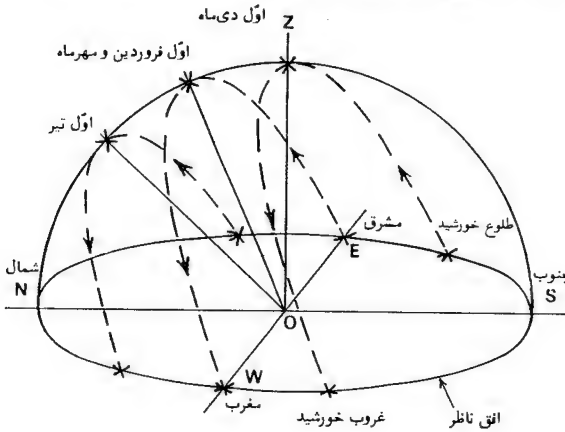


شکل (۲-۱۶) — مسیر حرکت ظاهری خورشید در عرض جغرافیایی 70° درجه شمالی.

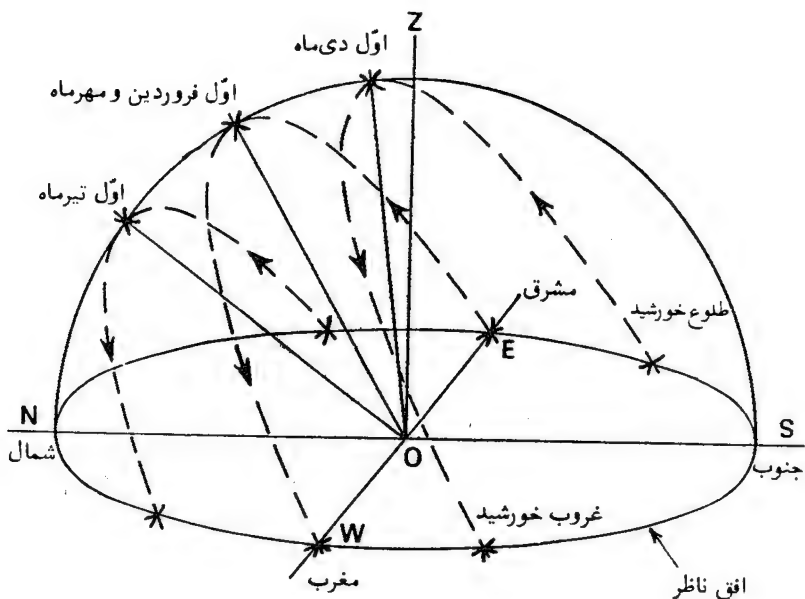
در اول تابستان خورشید در شبانه روز همواره در آسمان است و در حقیقت از نقطه شمالی ناظر، بالاتر از افق، قرار می گیرد و پس از طی یک دایره، دوباره به همان نقطه برمی گردد. تقریباً در حوالی اول آذرماه، خورشید به خط افق رسیده و شب طولانی قطبی در این مکان آغاز می شود که تقریباً در حدود دو ماه بطول می انجامد و در اوایل بهمن ماه مجدداً در افق ناظر در نقطه جنوبی پدیدار شده، شب طولانی قطبی پایان می رسد.



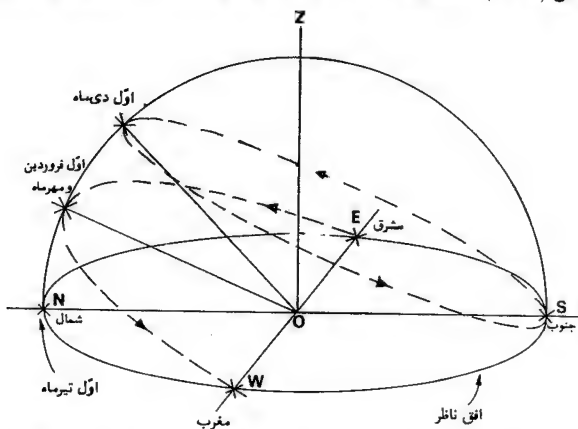
شکل (۲-۱۷) - مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در آسمان در عرض جنوبی ۲۰ درجه.



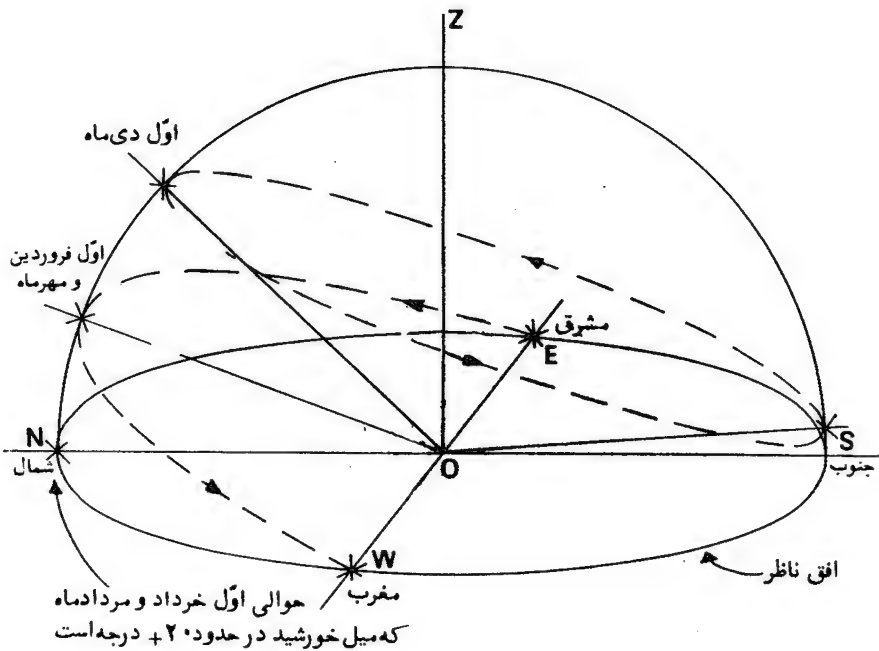
شکل (۲-۱۸) - مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در مدار رأس الجدی (۱° ۴۵' ۲۳' S). (φ = ۲۳° ۴۵' S)



شکل (۲-۱۹) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در مدار ۳۰ درجه عرض جنوبی.



شکل (۲-۲۰) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در مدار جنوبگان (مدار قطبی جنوب)،
۶۶/۵۵S.

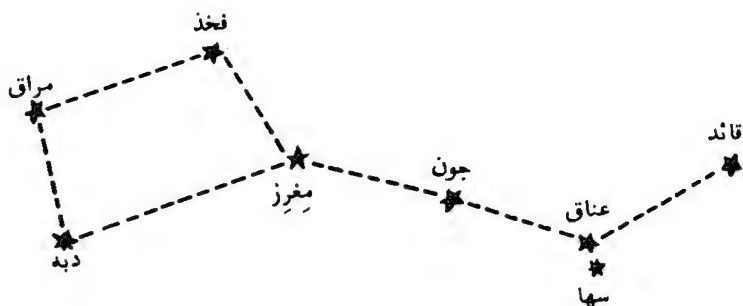


شکل (۲۰۲۱) - مسیر حرکت ظاهری خورشید در عرض جغرافیایی ۷۰° درجه جنوبی.

راه رصد ستاره قطبی، با استفاده از وسایل نجومی، ممکن است، اما پیدا کردن ستاره قطبی در آسمان، بدون استفاده از وسایل نجومی، خود می تواند راهنمای جهت شمال باشد. برای انجام این منظور می بایست با چند صورت فلکی آشنا شویم. یکی از آنها صورت فلکی دُب اکبر^۲ (خرس بزرگ) و یا آبگردان بزرگ^۳ است. چنانکه از اسم آبگردان پیداست، ستاره های این صورت، بشکل آبگردان قرار گرفته اند. این صورت فلکی، بهنگام غروب، در بیشتر مکانهای نیمکره شمالی، بشرط صاف بودن هوا، قابل رؤیت است. هفت ستاره پر نور، شکل آبگردان را پدید آورده اند. چهار ستاره که کاسه^۴ آبگردان را تشکیل می دهند، با اسامی دُبِه^۵، مِراق^۶، فِخْد^۷ و مِغْرز^۸ معروفند. این اسامی، عربی است و با توجه به اسامی انگلیسی آنها که در زیر نویس، ملاحظه می کنید، معلوم

- | | | |
|------------------|----------------------------|---------------|
| 1. Constellation | 2. Ursa Major (Great Bear) | 3. Big Dipper |
| 4. Bowl | 5. Dubhe | 6. Merak |
| | | 7. Phecda |
| | | 8. Megrez |

می‌شود که اسامی انگلیسی نیز از عربی گرفته شده‌اند. دُبه به معنای خرس، مِراق به معنی گُرده، فِخذ به معنای ران و بالاخره مِغْرَز به معنی بُن دُم خرس است. ستارگانی که دسته آبگردان را تشکیل داده‌اند به نامهای قَائِد^۲، عِناق^۳ و جَوْن^۴ معروفند که باز هم اسامی عربی است. قَائِد به معنای جلودار، عِناق به معنی بزغاله و معنای دقیق جَوْن هنوز مورد اختلاف است، چه منشاء آن روشن نیست. در نزدیکی عِناق ستاره کوچک سُهّا^۵ قرار دارد. اعراب این دو ستاره را اسب و سواره می‌نامیدند و از ستاره سُهّا برای آزمون دید خوب استفاده می‌کردند. ستارگان صورت فلکی دب اکبر در شکل (۲۲-۲) نمایانده شده است.



شکل (۲۲-۲) — ستارگان صورت فلکی دُب اکبر.

یکی از نخستین نامهایی که به این صورت فلکی، داده شده، خرس بزرگ است و اسامی عربی به معنای ران، گُرده و غیره، قسمت‌های مختلف پیکر خرس را بیان می‌کنند که این تعبیر، در شکل (۲۳-۲) ارائه شده است.

دلیل این نام‌گذاری روشن نیست، چه، بزحمت می‌توان طرح بدن خرس و یا هر حیوان دیگری را بر این صورت فلکی تصویر کرد.

بنابر افسانه‌ای کهن، خرس نشان‌دهنده کالیستو^۶، دختر شاه آرکادیا^۷ و معشوقه ژوپتر^۸ است که ژوپتر به منظور حفاظت از وی، او را به صورت خرس درآورده، بر آسمانها جای داد.

بنابر افسانه‌ای دیگر، خرس بزرگ، عمداً توسط روح بزرگ^۹ بر آسمان نهاده شد

1. Alkaid

2. Mizar

3. Alioth

4. Alcor

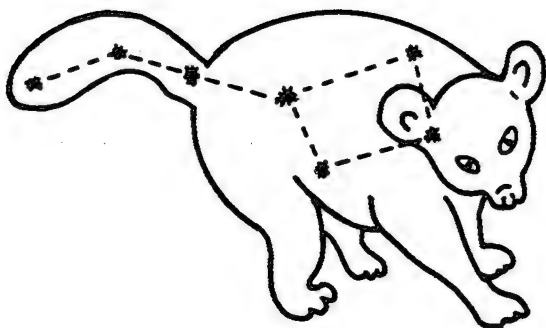
5. The Horse and the Rider

6. Callisto

7. Arcadia

8. Jupiter

9. Great Spirit



شکل (۲۳-۲) - تصویر خرس بزرگ بر صورت فلکی دُب اکبر.

تا به صورت تقویم برای خرسهای موجود در زمین باشد. در نیم سالی که خرس بزرگ دارای ارتفاع کمی است، همه خرسها، به درون غارهای خود در زمین رفته و خود را گرم نگه می دارند. هنگامی که خرس بزرگ در آسمان اوج می گیرد، تابستان آغاز می شود و خرسها غارهایشان را ترک می کنند. در حقیقت خرس بزرگ دارای حرکت ظاهری سالانه ای است که در همین بخش مورد بحث قرار خواهد گرفت.

اسامی خرس بزرگ و آبگردان بزرگ هنوز مصطلح است. نام علمی این صورت فلکی، ترجمه لاتینی خرس بزرگ^۱ است.

در انگلستان، این صورت فلکی^۲ را گاواهن و یا ارابه^۳، می گویند. ولی اگر بخواهیم دقیق باشیم، باید اصطلاح آبگردان بزرگ را به هفت ستاره پرنور، و اصطلاح خرس بزرگ را به همه ستاره های این صورت فلکی اطلاق کنیم. اما اغلب، این دو اصطلاح بجای هم، بکار می روند.

در ایران، این صورت فلکی را هفت برادران نیز می نامند و نام پارسی آن هفتو-رنگ است.

صورت فلکی دیگر، دُب اصغر^۴ (خرس کوچک) و یا آبگردان کوچک^۵ است. معروف ترین و پرنورترین ستاره این صورت فلکی، ستاره قطبی^۶ و یا جدی، نام دارد. پیدا کردن این ستاره در آسمان ساده است.

1. Ursa Major

2. Plough

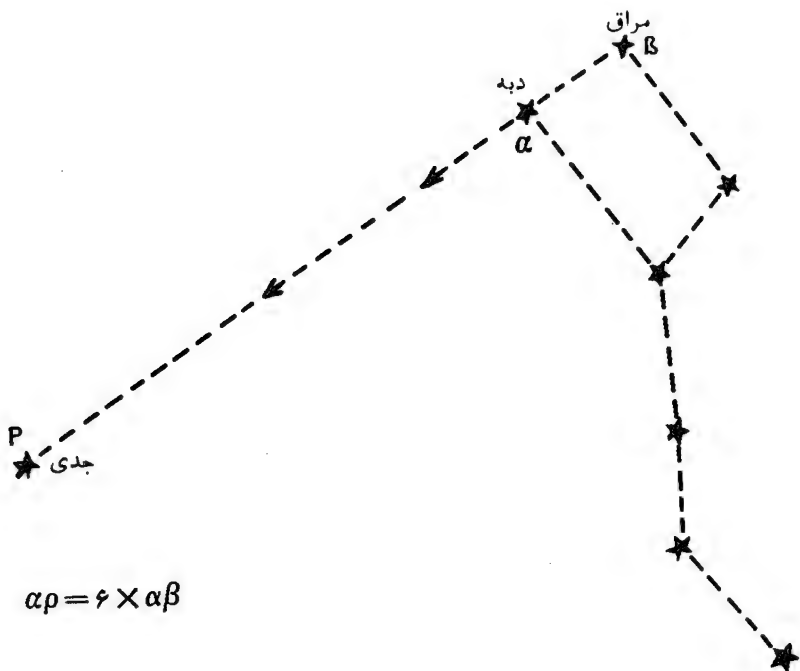
3. Wain (for Wagon)

4. Ursa Minor (Little Bear)

5. Little Dipper

6. Polaris (North Star)

نقطه شروع دو ستاره دُبه و مِراق در کاسه آبگردان بزرگ می‌باشد که به نام قراولان^۱ معروفند، امتداد خط واصل بین این دو ستاره از جُدی می‌گذرد. فاصله زاویه‌ای^۲ دُبه و مِراق نزدیک به ۵ درجه و فاصله زاویه‌ای دُبه و جُدی ۲۹ درجه است، که در نتیجه، فاصله زاویه‌ای دُبه و جُدی در حدود ۶ برابر فاصله قراولان است. لذا برای پیدا کردن ستاره قطبی، که به نام (α) - دب اصغر^۳ نیز نامیده می‌شود، می‌بایست فاصله میان مِراق و دُبه را شش برابر از دُبه امتداد داد تا به ستاره جُدی رسید، شکل (۲۴-۲).



شکل (۲۴-۲) - پیدا کردن جُدی با استفاده از قراولان. فاصله مِراق به دُبه را می‌بایست از دُبه به اندازه ۶ برابر ادامه داد تا به جُدی رسید.

فاصله قطبی^۴ ستاره قطبی، در حدود ۱° و ۱۰' است و بنابراین در فاصله خیلی

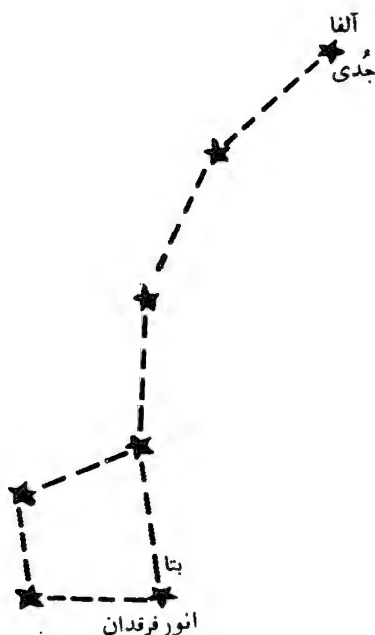
1. The Pointers

2. Angular Distance

3. α (Alpha) - Ursae Minoris

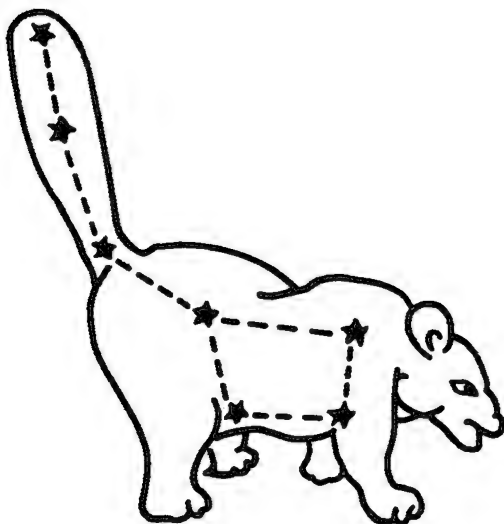
4. Polar Distance

نزدیک امتداد محور چرخشی زمین یعنی قطب شمال سماوی، قرار دارد که بهمین علت، ستاره قطبی^۱ نام گرفته است. بعد از جدی پرنورترین ستاره صورت فلکی، خرس کوچک، آنور فرقدان^۲ است که به نام بتا (β) - دب اصغر^۳ نیز نامیده می شود. نام انگلیسی این ستاره که در زیرنویس آمده، از لغت عربی کوکب به معنای ستاره، گرفته شده است. ستاره های این صورت فلکی در شکل (۲-۲۵) نشان داده شده اند.



شکل (۲-۲۵) - ستارگان صورت فلکی دب اصغر.

مانند صورت فلکی خرس بزرگ، اطلاق نام خرس کوچک به این صورت فلکی نیز نامناسب است، شکل (۲-۲۶). دو ستاره ای که بر سینه خرس کوچک قرار دارند به نام فرقدان یا فرقدین موسوم اند و آنور فرقدان یعنی آنکه پرنورتر است. دب اصغر، به نامهای بَنَاتُ النَّعْشِ صُغْرَى یا هفتورنگ کهین نیز مشهور است.



شکل (۲-۲۶) — تصویر خرس بر صورت فلکی دُب اصغر. دو ستاره قرار گرفته بر سینه خرس، به نام فرقدان یا فرقدین موسوم‌اند.

بنابر افسانه جالبی از بومیان سرخپوست آمریکا، گروهی شکارچی بومی، راه خود را در جنگل گم کرده بودند که در نتیجه اجابت دعاهایشان، دختر کوچکی پدیدار شد که آنها را به سلامت به خانه‌هایشان راهنمایی کرد. دخترک ثابت کرد که او، روح ستاره جدی است، لذا شکارچیان پس از مرگ در آسمان جای گرفتند که برای همیشه نزدیک او باشند.

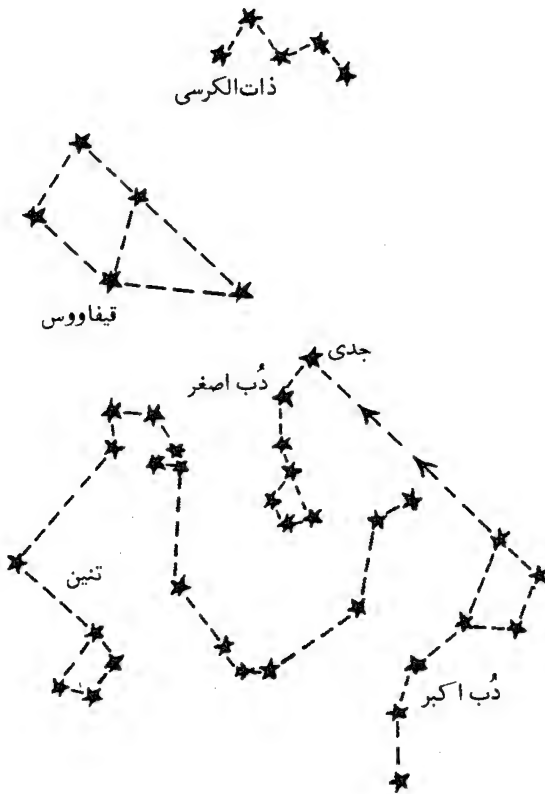
علاوه بر صورت فلکی دُب اکبر و دُب اصغر، سه صورت فلکی مشهور دیگر، همیشه در آسمان، مکانهای با عرض جغرافیایی بیشتر از ۴۰ درجه شمالی، قابل رؤیتند: این صور، عبارتند از ذات‌الکرسی^۱، تنین (اژدها)^۲ و قیفاووس^۳ که در شکل (۲-۲۷) نشان داده شده‌اند.

قبلاً چگونگی استفاده از قراولان را برای یافتن جدی بیان کردیم. حال که با صورت فلکی ذات‌الکرسی نیز آشنا شده‌ایم، بد نیست که وضعین این صورت فلکی را، که به شکل حرف M و یا W است، نسبت به ستاره قطبی بدانیم. مطابق آنچه که در

1. Cassiopeia

2. Dragon (Draco)

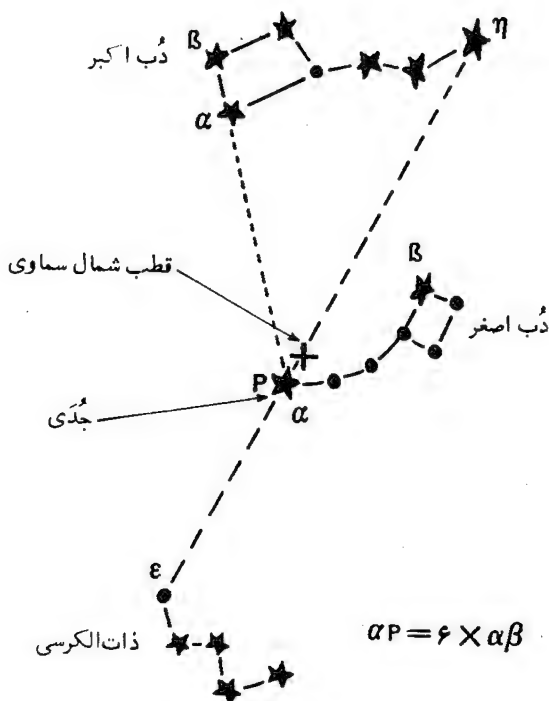
3. Cepheus



شکل (۲۷-۲) - صور فلکی دور قطبی شمالی که در آسمان مکانهای با عرض جغرافیایی بیشتر از ۴۰ درجه شمالی، قابل رؤیت اند.

شکل (۲۸-۲) نشان داده شده، زمانی که ستاره قطبی بر روی نصف النهار یک محل قرار می گیرد، ستاره های η (اتا) در صورت فلکی دب اکبر و ϵ (اپسیلون) در صورت فلکی ذات الكرسي نیز بر روی نصف النهار محل قرار خواهند گرفت.

تا بحال دیدیم که برای یافتن ستاره قطبی، می بایست ابتدا صورت فلکی دب اکبر را پیدا کنیم. این صورت فلکی مانند هر صورت فلکی و یا ستاره دیگر، دارای حرکت ظاهری روزانه و سالیانه^۲ است و بنابراین در آسمان یک محل، همیشه در مکان ثابتی قرار نمی گیرد. لذا برای پیدا کردنش، قبلا باید با حرکات آن نیز آشنا بود:



شکل (۲-۲۸) - قرار گرفتن سه ستاره آلفا - دب اصغر (جُدی)، اِتا - دب اکبر و اپسیلون - ذات - الکرسی بر روی نصف النهار یک محل.

همه می دانند که ظاهراً خورشید در مشرق طلوع و پس از طی قوسی در آسمان، در مغرب غروب می کند.

ستارگان نیز مانند خورشید ظاهراً قوسهایی را، از قسمت شرقی افق به قسمت غربی آن، می پیمایند. یک دوران کامل، ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴/۰۹ ثانیه بطول می انجامد. در فصل هفتم خواهید دید که مدت این دوران را روز نجومی و یا روز ستاره ای^۱ می نامند. مدت روز نجومی را بسهولت می توان در یک شب صاف بکمک یک ساعت مچی دقیق، تقریباً اندازه گیری کرد. برای این کار زمان طلوع یک ستاره پرنور از افق شرقی را یادداشت کنید. در روز بعد دوباره زمان طلوع همان ستاره را ثبت

1. Sidereal Day.

صورت فلکی محاذی افق و کاسه آن در طرف راست باشد، شش ساعت بعد، دسته آبگردان، بطرف پایین خواهد بود. دوازده ساعت پس از رصد اول، دهانه باز کاسه آبگردان رو به پایین بنظر خواهد رسید. هیجده ساعت پس از رصد اول، دسته آبگردان به سمت بالا خواهد بود.

در هر ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و چهار ثانیه، دب اکبر را در هریک از این وضعیتهای می توان دید. البته در بخشی از این مدت، آفتاب مانع رصد کردن خواهد بود. چه نور ضعیف ستاره ها را در آسمان روشن روز، نمی توان مشاهده کرد.

حال که با حرکت ظاهری روزانه صورت فلکی دب اکبر آشنا شدیم، در مرحله بعد به حرکت ظاهری سالانه آن می پردازیم:

این واقعیت که ستارگان یک گردش کامل را در کمتر از بیست و چهار ساعت انجام می دهند، بسیار مهم است؛ معنی دیگر این واقعیت اینست که ستارگان و با صورت فلکی دب اکبر، در مدت ۲۴ ساعت بیش از یک گردش کامل را می پیمایند. تفاوت میان ۲۴ ساعت و یک دوره تناوب گردش عبارتست از:

— ۲۴ ساعت

۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴ ثانیه

۳ دقیقه و ۵۶ ثانیه

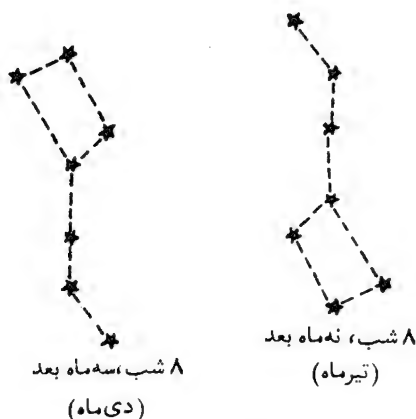
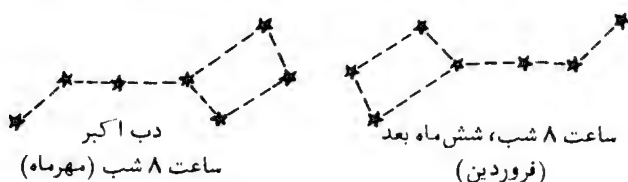
در نتیجه، ستارگان در سه دقیقه و ۵۶ ثانیه باقیمانده، دوران بعدی را شروع می کنند. این مطلب از طریق رصد هم قابل اثبات است.

ستاره ای که فرضاً در ساعت هشت شامگاه جمعه، درست در بالای افق پدیدار می شود، شامگاه روز بعد در ساعت هشت، اندکی بالاتر از حد روز قبل در افق دیده خواهد شد و در ساعت هشت شامگاه روز یکشنبه، ارتفاع بیشتری از افق خواهد داشت و یک ماه بعد در ساعت هشت، بمقدار قابل ملاحظه ای از افق بالاتر خواهد بود. بعد از سه ماه، در ساعت هشت بعد از ظهر ستاره مزبور باندازه ربع دایره، از افق شرقی فاصله خواهد داشت.

این حرکت ستارگان نیز حرکتی ظاهری و نتیجه حرکت واقعی زمین، حول خورشید است. زمین در حرکت انتقالی خود به دور خورشید، یک گردش کامل را در دوازده ماه می پیماید. به همین ترتیب صورتهای فلکی، از جمله دب اکبر دارای یک حرکت ظاهری سالانه است.

بدین طریق در ساعت هشت بعد از ظهر، در مهرماه، دب اکبر در نزدیکی افق

و در وضعیتی است که دهانه باز کاسه، رو ببالا است. سه ماه بعد در همان زمان بهنگام شب، دسته آبگردان رو بپایین است. در فروردین ماه، در همان وقت شب، دب اکبر ارتفاع زیادی از افق داشته، کاسه آبگردان، در طرف چپ قرار خواهد گرفت. در تیرماه در همان ساعت شب، کاسه آبگردان بطرف پایین است، شکل (۲-۳۰).



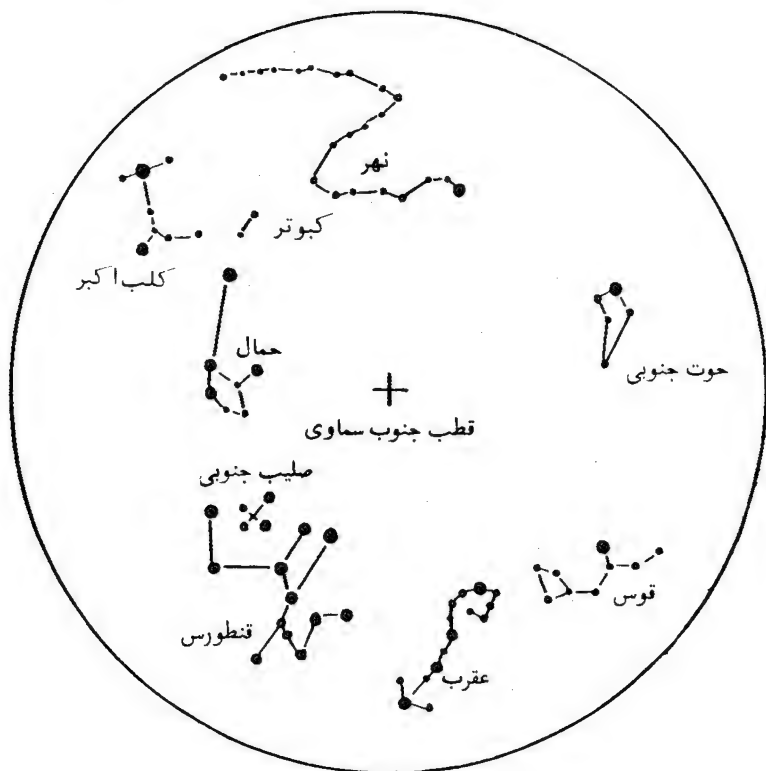
شکل (۲-۳۰) — حرکت ظاهری سالیانه دب اکبر

بنابراین با جمع تعداد حرکات ظاهری روزانه و سالیانه، می بینیم که در مدتی برابر $365/25$ روز، دب اکبر $366/25$ بار گردش ظاهری دارد. که $365/25$ بار آن، حرکت ظاهری روزانه، در اثر حرکت وضعی زمین و یک بار آن، حرکت ظاهری سالانه، در نتیجه حرکت انتقالی آن است.

با آنچه که بیان شد می بینیم که وضعیت دب اکبر همیشه در یک جای آسمان، ثابت نیست. آشنایی با حرکات ظاهری دب اکبر، ما را، در، یافتن آن کمک خواهد کرد.

در نتیجه استفاده از صورت فلکی دب اکبر، ستاره قطبی، بسادگی پیدا می شود. لذا اگر در یک زمین هموار و روبروی این ستاره، طوری بایستیم که مستقیماً به جلو و

به طرف آن نگاه کنیم، جهت روبروی ما، جهت شمال جغرافیایی خواهد بود. این گونه جهت یابی اگرچه کاملاً دقیق نیست، اما در بسیاری از موارد، می تواند کارساز باشد. آنچه که تا بحال گفته شد مربوط به نیمکره شمالی زمین بود یعنی این فقط در نیمکره شمالی است که ستاره روشنی مانند ستاره قطبی، در فاصله خیلی نزدیک به قطب شمال سماوی، قابل رؤیت است. چنانچه در شکل (۲-۳۱) می بینیم، در نزدیکی قطب



شکل (۲-۳۱) - ستارگان دور قطبی جنوبی. در نزدیکی قطب جنوب سماوی هیچ ستاره روشنی وجود ندارد.

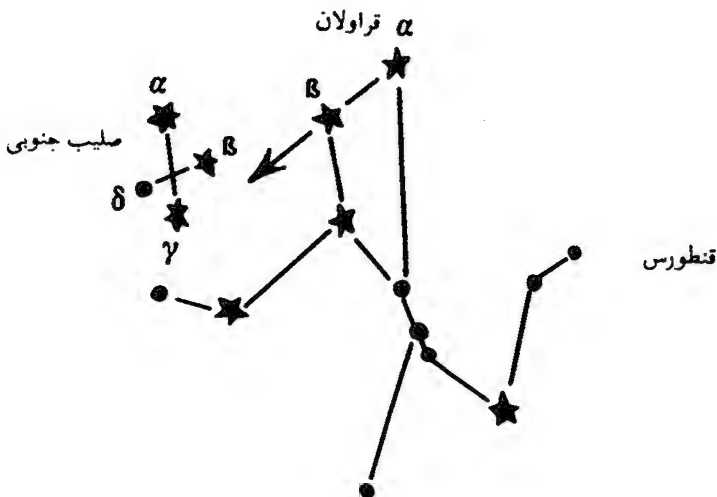
جنوب سماوی^۱ هیچ ستاره روشنی وجود ندارد. سه صورت فلکی زیبا، آسمان نیمکره جنوبی را می آرایند. کارینا^۲ (حمال، شاه تخته، باربر) یکی از این سه صورت است،

صليب جنوبی^۱، صورت دیگری است که سخت مورد توجه اهالی نیمکره جنوبی است. صورت سوم قنطورس^۲ است (این اسم دارای ریشه لاتین و یونانی است و از نام حیوانی افسانه‌ای^۳ که نیم تنه بالای او بشکل انسان و نیم تنه دیگر بشکل اسب بوده، گرفته شده است).

این ستارگان برای رصد کنندگان عرضهای جغرافیایی میانه، در نیمکره شمالی، همیشه زیر افق قرار دارند و در نتیجه، قابل رؤیت نیستند. آنها از نیم کره جنوبی زمین دیده می‌شوند و به ستارگان دور قطبی جنوبی^۴، موسومند. بهترین جا برای رصد کردن آنها، استرالیا، آفریقای جنوبی و آمریکای جنوبی است.

از میان سه صورت فلکی ذکر شده، فقط دو صورت صليب و حمال می‌تواند در جهت یابی مورد استفاده قرار بگیرند:

نزد دریانوردان سراسر جهان α (آلفا) - قنطورس با نام رِجل قنطورس (پای قنطورس) شهرت دارد. بفاصله چند درجه از α (آلفا) - قنطورس، β (بتا) - قنطورس، واقع است. این دو ستاره، قراولان نیمکره جنوبی‌اند. مطابق شکل (۲-۳۲)، خطی که



شکل (۲-۳۲) - قراولان نیمکره جنوبی. چون خط واصل α و β ادامه یابد، به شمالی‌ترین ستاره صليب جنوبی می‌رسد.

1. Crux (The Southern Cross)

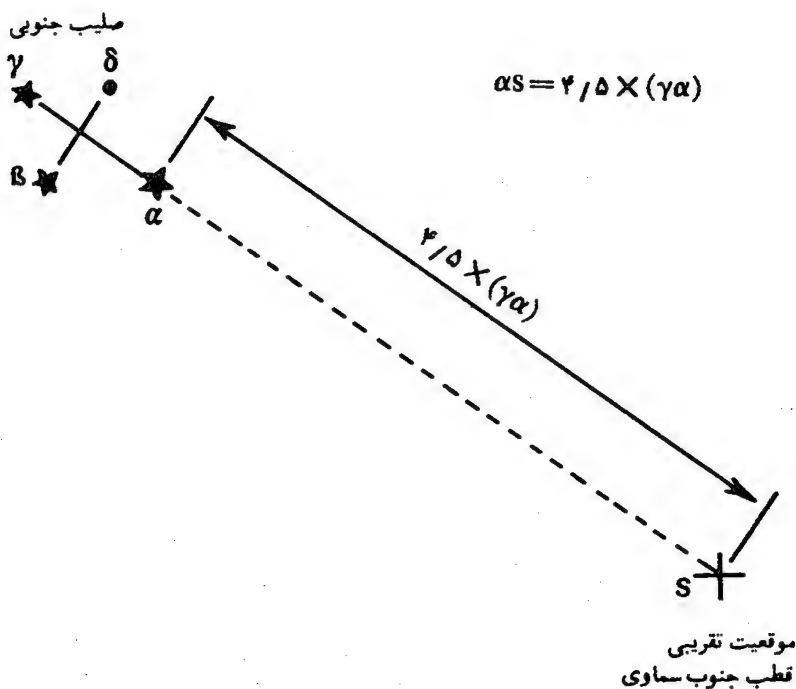
2. Centaurus

3. Centaur

4. South Circumpolar Star

از α و β می گذرد به شمالی ترین ستاره صلیب جنوبی اشاره می کند. بدین ترتیب جهت شمالی صلیب جنوبی مشخص می گردد.

در مرحله بعد، صلیب جنوبی می تواند به سهولت برای پیدا کردن حدود قطب جنوب سماوی، مورد استفاده قرار گیرد. چنانکه مطابق شکل (۲-۳۳)، فاصله میان α (آلفا) - صلیب جنوبی و γ (گاما) - صلیب جنوبی را با اندازه چهارونیم برابر از ستاره α (آلفا) - صلیب جنوبی امتداد دهیم، محل تقریبی قطب جنوب سماوی، بدست خواهد آمد. لذا چنانکه در یک زمین هموار، روبروی محل قطب جنوب سماوی بایستیم و مستقیماً به جلو و سمت آن نگاه کنیم، جهت روبروی ما، جنوب جغرافیایی خواهد بود. علاوه بر این روش، در نیمکره جنوبی، می توان بسادگی از روی فازهای ماه نیز



شکل (۲-۳۳) - تعیین موقعیت تقریبی قطب جنوب سماوی با رصد صورت لکی صلیب جنوبی. اگر فاصله میان α (آلفا) - صلیب جنوبی و γ (گاما) - صلیب جنوبی را با اندازه چهارونیم برابر از ستاره α (آلفا) - صلیب جنوبی امتداد داده شود، موقعیت تقریبی قطب جنوب سماوی در آسمان، مشخص می شود.

در شب، جهت یابی کرد که در مطلب بعدی چگونگی روش، ذکر شده است.

۸. جهت یابی بوسیله ماه

اهله قمر^۱ و یا صور ماه و همچنین وضعیتهای^۲ ماه نسبت به زمین و خورشید در فصل ششم شرح داده شده است.

می دانیم که ماه در اثر انعکاس نور خورشید می درخشد. بنابراین از قسمت روشن ماه می توان جهت تابش نور خورشید را معلوم کرد. اندکی بعد از ماه نو، باریکه روشنی از ماه بعد از غروب آفتاب، در قسمت غربی افق دیده می شود که به آن هلال ماه نو گویند. از مرحله هلال ماه نو به بعد، بتدریج بر پهنای قسمت روشن ماه افزوده می شود که در نتیجه، پس از عبور از مراحل تربیع اول و تثلیث، به مرحله ماه شب چهارده و یا بدر می رسد. از مرحله ماه نو تا بدر که در واقع نیمه اول ماه قمری است، مرحله روبه بدر نامیده می شود. در مرحله روبه بدر، عواره قوس روشن ماه روبه مغرب است. بنابراین از مرحله هلال ماه نو تا مرحله بدر، می توان جهت مغرب را از روی ماه پیدا کرد. اما در خود مرحله بدر، جهت یابی از این طریق ممکن نیست، ولی با توجه به محل طلوع و یا غروب آن و همچنین دقت در مسیر حرکت ماه در آسمان، تا حدی می توان جهتها را نیز در این مرحله شناخت.

نیمه دوم ماه قمری، یعنی مراحل را که ماه پس از قرص کامل یا بدر، بسوی ماه نوطی می کند، مرحله محاق می نامند. در واقع عکس مرحله اول است. در مرحله محاق قوس روشن ماه در تمام مراحل، رو بسوی مشرق دارد. بنابراین در نیمه دوم ماه، از روی قوس روشن ماه می توان جهت مشرق را معلوم کرد. در مرحله ماه نو، قرص ماه در آسمان دیده نمی شود. لذا این روش جهت یابی، موردی پیدا نمی کند.

بنابراین با توجه به قرص ماه، بسادگی می توان جهت مغرب را در نیمه اول ماه و جهت مشرق را در نیمه دوم ماه بطور تقریب مشخص کرد. این روش، بخصوص در نیمکره جنوبی، که ستاره روشنی در محل قطب جنوب سماوی وجود ندارد، می تواند بسادگی برای جهت یابی در شب، بکار گرفته شود.

۹. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی از راه محاسبه سمت خورشید

قبلاً در مطلب شماره (۲) و (۳) در این فصل، چگونگی تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در لحظه ظهر خورشیدی بیان شد. روشی که در اینجا بیان می شود؛ در هروقت روز، بشرط تابش آفتاب، قابل اجراست.

سمت خورشید و یا هرستاره ای، در فصل ششم کتاب تعریف شده است. اگر خطی که ناظر را به خورشید وصل می کند بر صفحه افق تصویر کنیم، زاویه ای که خط تصویر شده با امتداد جنوب جغرافیایی می سازد، سمت خورشید نامیده می شود. با توجه به امتداد جنوب جغرافیایی، زاویه حاصل، ممکن است بطرف مشرق و یا مغرب باشد. سمت خورشید را می توان برای هر ساعتی از هر روز معین با استفاده از فرمولهای زیر، محاسبه کرد:

$$\tan A = \frac{\tan h \cos N}{\sin(\varphi - N)} \quad (2-1)$$

که مقدار پارامتر N ، خود از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\tan N = \frac{\tan \delta}{\cosh} \quad (2-2)$$

در این دو فرمول مقادیر δ ، h و A به شرح زیر است:

δ = میل خورشید بر حسب درجه

h = زاویه ساعتی^۲ خورشید بر حسب درجه

φ = عرض جغرافیایی محل ناظر، بر حسب درجه

A = سمت خورشید نسبت به جنوب جغرافیایی، بر حسب درجه

گاهی زمان، بجای ساعت، بر حسب درجه، بیان می شود؛ بطوری که هر ۲۴ ساعت برابر ۳۶۰ درجه و در نتیجه، هر ساعت برابر ۱۵ درجه می شود. در این گونه موارد است که زاویه ساعتی، مصداق پیدا می کند. در مورد خورشید، مبنای مقایسه، لحظه ظهر خورشیدی است که زاویه ساعتی در این لحظه، برابر صفر است. در ساعت یک بعد از ظهر به وقت شمسی حقیقی، زاویه ساعتی خورشید، برابر ۱۵ درجه و در ساعت دو بعد از ظهر، برابر ۳۰ درجه است. در ساعت ۱۰ و ۱۱ صبح بوقت شمسی حقیقی

زاویه ساعتی خورشید نیز به ترتیب برابر ۳۰ و ۱۵ درجه است. وقت شمسی حقیقی همان پارامتر (LAT)، در فرمول (۱-۳) است، که در فصل اول، بیان گردید. بنابراین زاویه ساعتی خورشید، از تبدیل وقت شمسی حقیقی به درجه زاویه ای، بدست می آید. در جدول (۱-۲)، اوقات قبل و بعد از ظهر به وقت شمسی حقیقی بر حسب زاویه ساعتی داده شده است.

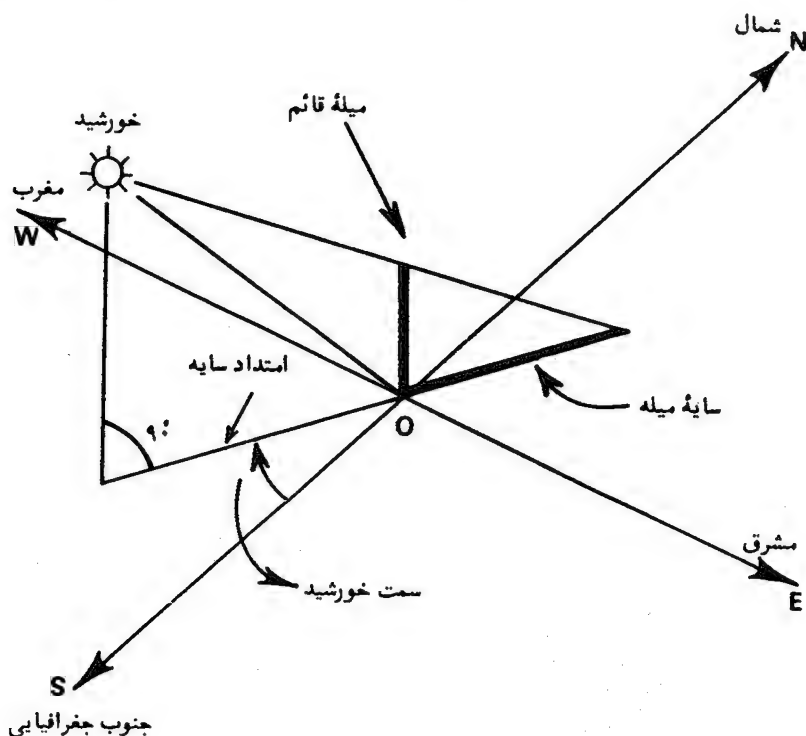
وقت ساعت خورشیدی قبل از ظهر		زاویه ساعت خورشیدی بر حسب درجه		وقت ساعت خورشیدی بعد از ظهر	
ساعت	دقیقه	درجه	دقیقه	ساعت	دقیقه
۱۲	۰	۰	۰	۱۲	۰
۱۱	۳۰	۷	۳۰	۱۲	۳۰
۱۱	۰	۱۵	۰	۱	۰
۱۰	۳۰	۲۲	۳۰	۱	۳۰
۱۰	۰	۳۰	۰	۲	۰
۹	۳۰	۳۷	۳۰	۲	۳۰
۹	۰	۴۵	۰	۳	۰
۸	۳۰	۵۲	۳۰	۳	۳۰
۸	۰	۶۰	۰	۴	۰
۷	۳۰	۶۷	۳۰	۴	۳۰
۷	۰	۷۵	۰	۵	۰
۶	۳۰	۸۲	۳۰	۵	۳۰
۶	۰	۹۰	۰	۶	۰
۵	۳۰	۹۷	۳۰	۶	۳۰
۵	۰	۱۰۵	۰	۷	۰
۴	۳۰	۱۱۲	۳۰	۷	۳۰
۴	۰	۱۲۰	۰	۸	۰

جدول (۱-۲) — زاویه ساعتی خورشیدی از ساعت ۴ صبح تا ۸ بعد از ظهر به وقت شمسی حقیقی

مراحل کار بدین ترتیب است که برای ساعت معینی از روز، وقت معادل را بر حسب وقت شمسی حقیقی، برای نصف النهار محل حساب می کنیم. — این بدان معنی

است که علاوه بر عرض جغرافیایی محل، که برای فرمولهای مذکور مورد نیاز است، می بایست طول جغرافیایی محل را نیز بدانیم. سپس وقت شمسی حقیقی بدست آمده را به شرحی که گذشت و یا با استفاده از جدول (۱-۲) به زاویه ساعتی تبدیل می کنیم. آنگاه میل خورشید را با استفاده از جدول (۱-۶) بدست آورده، سپس سمت خورشید را از فرمولهای داده شده محاسبه می کنیم. مرحله بعدی، این خواهد بود که مطابق شکل (۳۴-۲)، دقیقاً در ساعت معین شده، از امتداد سایه یک میله عمودی (یا نخ شاقول) بر یک صفحه افقی، زاویه سمت محاسبه شده را جدا کرده، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی را بدست آوریم.

از مزایای این روش اینست که تصحیحات مربوط به اختلاف منظر و شکست نور خورشید در اتمسفر، اثری در نتیجه این روش، ندارد. همچنین می توان فرض کرد که سایه ایجاد شده، در زمان معین شده، از مرکز خورشید، ناشی گشته است. دقت



شکل (۳۴-۲) — مشخص کردن امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از سمت خورشید.

روش، بستگی به دقت در عمود بودن میله و مشخص کردن دقیق امتداد سایه در زمان معین شده را دارد. نکته دیگر اینکه ممکن است، در محلی امتداد شاقول از مرکز زمین نگذرد. چگونگی اثر این پدیده در فصل هشتم کتاب، بر خواننده آشکار خواهد شد.

برای روشن شدن امر، به ذکر مثالی می پردازیم:

مثال (۲-۲): سمت خورشید را در ساعت ۹ صبح به وقت رادیوایران در روز بیست و دوم مهرماه در نقطه ای در تهران با طول جغرافیایی $39^{\circ} 25' 51''$ و عرض جغرافیایی $35^{\circ} 43'$ محاسبه کرده، سپس با توجه به نتیجه محاسبه، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل را مشخص کنید.

راه حل: اول باید حساب کنیم، آنگاه که مطابق وقت استاندارد ایران، ساعت ۹ صبح است، به وقت شمسی حقیقی، در محل، چه ساعتی است. برای این کار، از فرمولهای (۱-۳) و (۱-۴) استفاده می کنیم. در اینجا هم مانند مثال (۲-۱)، نصف النهار محل، در مغرب نصف النهار استاندارد ایران است. لذا علامت LA منفی است. طول جغرافیایی و اندازه تعدیل زمان، همان مقادیر مثال (۲-۱) است. در نتیجه خواهیم داشت:

$$LAT = 9 + 13/78333 - LA$$

$$LA = 4 \times (52/5 - 51/4275) = 4/29 \quad \text{دقیقه}$$

$$LAT = 9 + 13/78333 - 4/29$$

ساعت شمسی حقیقی $8/8417778 = 30/4$ ثانیه و 50 دقیقه و 8 ساعت $LAT =$ حال می بایست این ساعت را به زاویه ساعتی تبدیل کرد و چون ظهر شمسی حقیقی مبنای کار است، پس: زاویه ساعتی خورشید در ساعت ۹ صبح برابر $47^{\circ} 37' 33'' = 15^{\circ} \times (12 - 8/8418) = h$ است. مقدار میل خورشید در روز بیست و دوم مهرماه (چهاردهم اکتبر) از جدول (۱-۶) برابر 55° و $7^{\circ} = \delta$ است. بنابراین با استفاده از فرمول (۲-۲) خواهیم داشت:

$$\tan N = \frac{\tan(-7^{\circ}/9167)}{\cos(47^{\circ}/3733)} = -0/02533$$

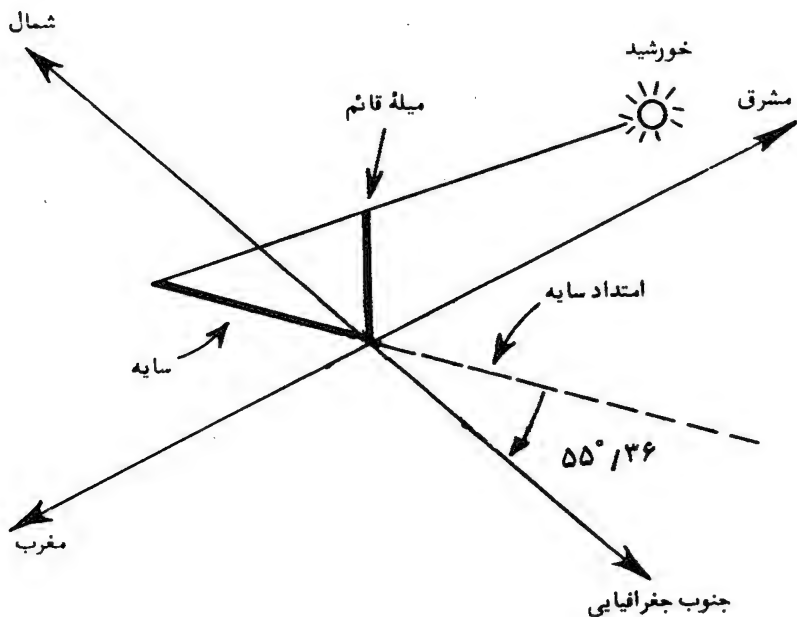
$$N = -11^{\circ}/603651$$

سپس از فرمول (۲-۱) مقدار سمت را محاسبه می کنیم:

$$\tan A = \frac{\tan(47^\circ/3108) \cos(-11^\circ/6036)}{\sin(35^\circ/7167 + 11^\circ/6036)} = 1/4477$$

$$A = 55^\circ/36$$

این زاویه ای است که خورشید تصویر شده بر سطح افق، با امتداد جنوب جغرافیایی می سازد. در آخرین مرحله، مطابق شکل (۲-۳۵) سایه یک میله قائم را در رأس ساعت ۹ صبح ۲۲ مهر ماه مشخص می کنیم. سپس خط سایه را در جهت خلاف سایه، بطرف جلو امتداد داده و از پای میله عمودی بطرف مغرب، زاویه ای برابر $55^\circ/36$ جدا می کنیم، ضلع بدست آمده، امتداد جنوب جغرافیایی است.



شکل (۲-۳۵) - تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، نقطه ای در تهران

۱۰. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی^۱

علاوه بر لحظه ظهر شرعی، وقت مناسب دیگر برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی است. صفحه دایره نصف النهار اصلی بر صفحه نصف النهار سماوی عمود بوده و از سمت الرأس ناظر و نقاط مشرق و مغرب جغرافیایی عبور می کند. بنابراین امتداد سایه یک میله قائم در لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی، امتداد مشرق-مغرب جغرافیایی را مشخص خواهد کرد. خورشید در طول روز دوبار، یکی قبل از ظهر و دیگری بعد از ظهر، از سطح نصف النهار اصلی یک محل، عبور می کند و لذا در هر روز می توان در صبح و یا بعد از ظهر این روش را بکار گرفت (فقط نیمی از سال).

لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار یک محل از فرمول زیر محاسبه می گردد:

اثبات این فرمول در فصل ششم داده شده است.

$$\cosh = \tan \delta \cot \varphi \quad (2-3)$$

چنانکه از این فرمول پیداست، با دانستن میل خورشید و عرض جغرافیایی محل، زاویه ساعتی لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی محل محاسبه می شود. سپس زاویه ساعتی محاسبه شده با استفاده از جدول (۲-۱) به وقت شمسی حقیقی تبدیل و آنگاه وقت بدست آمده را با استفاده از فرمول (۱-۳) به وقت استاندارد و یا رسمی تبدیل می کنیم. در نهایت، درست در وقت رسمی محاسبه شده، سایه یک میله قائم را مشخص می کنیم. امتداد سایه، جهت مغرب-مشرق جغرافیایی محل است که بر جهت شمال جنوب جغرافیایی عمود است.

برای روشن تر شدن روش، به ذکر مثالی مبادرت می کنیم:

مثال (۲-۳)— لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی در تاریخ و محل داده شده در مثال (۲-۲) را محاسبه کنید.

راه حل— با استفاده از رابطه (۲-۳) خواهیم داشت:

$$\cosh = \tan(-7^{\circ}/9167) \cot(35^{\circ}/7167)$$

$$\cosh = -0.1934$$

$$h = 101^{\circ}/15$$

$$h = \frac{101^\circ/15}{15^\circ} = 6/74 \text{ ساعت}$$

بنابراین در ساعت ۶/۷۴ بعد از ظهر و ۵/۲۶ صبح (۱۲-۶/۷۴) به وقت شمسی حقیقی، خورشید از سطح نصف النهار اصلی محل عبور خواهد کرد. اما بنظر می رسد که در این وقت و تاریخ، خورشید در ساعت‌های فوق‌الذکر غروب کرده و یا هنوز طلوع نکرده باشد. کنترل این مطلب، از فرمول زیر که زاویه ساعتی غروب و یا طلوع خورشید را نشان می دهد، ممکن است. این فرمول نیز در فصل ششم کتاب، ذکر شده است.

$$\cosh = -\tan\delta \tan\varphi \quad (2-4)$$

و زاویه ساعتی طلوع و یا غروب خورشید در این مثال، خواهد شد:

$$\cosh = -\tan(-7^\circ/9167)\tan(35^\circ/7167)$$

$$\cosh = -0.09998 \quad h = 95^\circ/74$$

$$h = \frac{95^\circ/74}{15^\circ} = 6/38 \quad \text{ساعت غروب به وقت شمسی حقیقی}$$

$$12 - 6/38 = 5/62 \quad \text{ساعت طلوع به وقت شمسی حقیقی}$$

حدس ما، درست بود و بدین ترتیب در تاریخ مربوط، خورشید قبل از طلوع و بعد از غروب، از سطح نصف النهار اصلی محل مورد نظر می گذرد. بنابراین بکاربردن این روش، در این تاریخ، ممکن نیست. حال اگر به مطلب حرکت ظاهری روزانه خورشید و شکل‌های مربوط، که در مطلب شماره (۶) در این فصل داده شد، برگردیم، بسادگی درمی یابیم که کاربرد این روش فقط در نیمی از سال در فصل‌های بهار و تابستان، ممکن است و در نیمی دیگر، خورشید در طول روز، سطح نصف النهار اصلی را قطع نمی کند. حال به ذکر مثالی برای تاریخ دیگری که عمل، به این روش، امکان دارد، می پردازیم: مثال (۲-۴) — لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی، در محل داده شده در مثال (۲-۲) را برای روز ۲۱ فروردین ماه تعیین کنید.

راه حل — در روز ۲۱ فروردین ماه (دهم آوریل) اندازه میل خورشید از جدول (۱-۶) برابر $(+7^\circ 43')$ است. پس خواهیم داشت:

$$\cosh = \tan(7^\circ/717)\cot(35^\circ/717) = 0.1885$$

$$h = 79^\circ/14 \quad h = 5/2758 \text{ ساعت}$$

بنابراین در این تاریخ در ساعت ۵/۲۷۵۸ بعد از ظهر و ۶/۷۲۴۲ صبح، به وقت شمسی حقیقی، خورشید از سطح نصف النهار اصلی در این محل، عبور خواهد کرد. حال باید دید به وقت رادیو ایران، چه ساعتی خواهد بود. در این روز، اندازه تعدیل زمان (ثانیه ۳۲ و دقیقه ۱-) است و با استفاده از فرمولهای (۱-۳) و (۱-۴) خواهیم داشت:

$$6/7242 = ST - 1/5333 - LA$$

$$LA = 4 \times (52^\circ/5 - 51^\circ/2758) = 4/29 \text{ دقیقه}$$

$$ST = 6/82123 \text{ ساعت بعد از ظهر}$$

لحظه عبور در بعد از ظهر به وقت رادیو ایران:

$$ST = 16/43 \text{ ثانیه و } 49 \text{ دقیقه و } 6 \text{ ساعت}$$

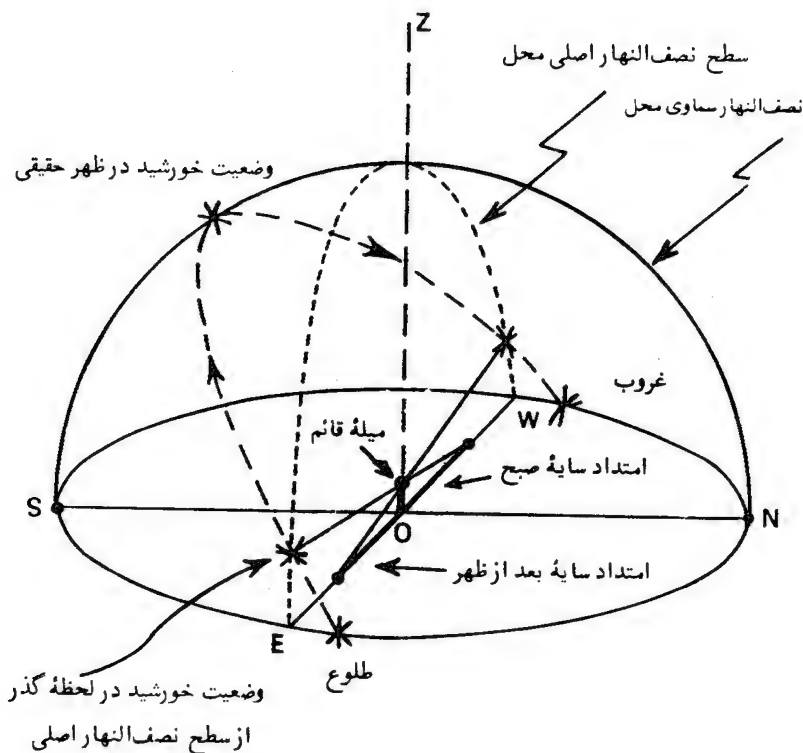
$$5/2758 = ST - 1/5333 - 4/29 \quad \text{همچنین در صبح:}$$

$$ST = 5/37288 \text{ ساعت صبح}$$

لحظه عبور در صبح به وقت رادیو ایران: ۲۲/۳۷ ثانیه و ۲۲ دقیقه و ۵ ساعت $ST =$ حال که اوقات عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی محاسبه شد، در مرحله آخر، درست در زمانهای محاسبه شده، مطابق شکل (۲-۳۶)، امتداد سایه یک میله قائم را بر روی یک صفحه کاملاً افقی مشخص می کنیم. امتداد سایه، هنگام صبح، سمت مغرب جغرافیایی و در بعد از ظهر، سمت مشرق جغرافیایی خواهد بود. بجای میله قائم، می توان از سایه یک دیوار و یا ستون قائم در محوطه نیز استفاده کرد.

در این روش چون امتداد سایه و یا در حقیقت سمت خورشید مورد استفاده قرار می گیرد، لذا تصحیح مربوط به شکست نور، اثری در نتیجه کار نخواهد داشت. مزیت دیگر این روش، دراز تر بودن طول سایه، نسبت به لحظه ظهر خورشیدی است که در نتیجه، امتداد سایه با دقت بیشتری مشخص خواهد شد.

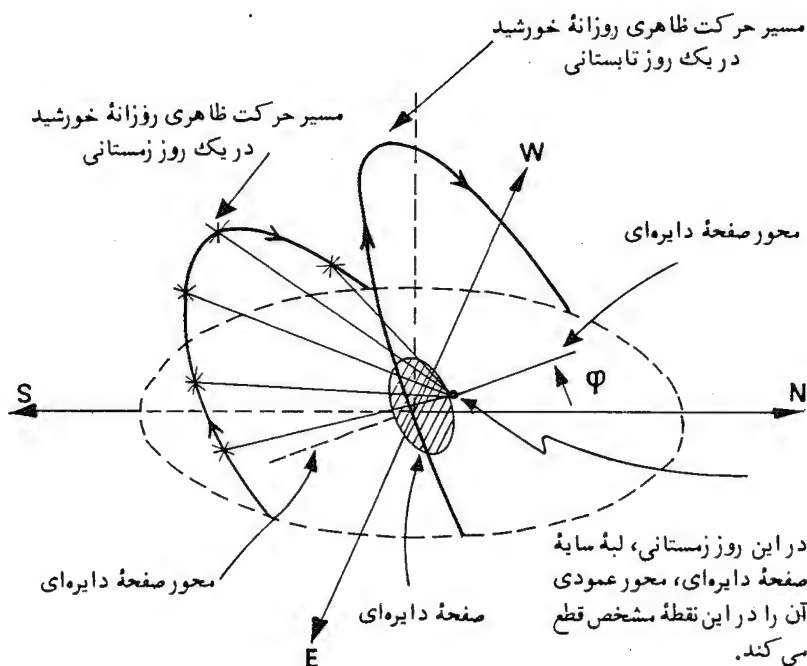
امتدادی که بدین ترتیب بدست می آید، بر امتدادی که در روش تعیین لحظه ظهر خورشیدی و یا طول سایه یک میله قائم مشخص می گردد، عمود است. لذا برای دقت بیشتر، می توان دو روش را در یک روز واحد بکار گرفته، صحت کار را سنجید.



شکل (۲-۳۶) - تعیین امتداد مشرق-مغرب جغرافیایی در تهران در لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی در روز ۲۱ فروردین ماه.

۱۱. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از سایه یک صفحه دایره‌ای شکل

اساس این روش به این صورت است که اگر صفحه‌ای دایره‌ای شکل را در محلی، موازی دایره استوا نگهداریم، بعبارت دیگر، اگر محور عمودی یک صفحه دایره‌ای شکل، موازی محور زمین باشد، لبه سایه صفحه دایره‌ای شکل، محور عمودی آن را در نقطه‌ای قطع می‌کند که در طول روز، جای آن بر روی محور عمودی، ثابت می‌باشد، شکل (۲-۳۷). محل این نقطه، بر روی محور عمودی صفحه دایره‌ای شکل، به تاریخ روز مربوط، بسته است. فاصله آن تا مرکز صفحه دایره‌ای شکل را



شکل (۲-۳۷) - اساس تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از سایه صفحه دایره‌ای

می‌توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$y = r \tan \delta \quad (2-5)$$

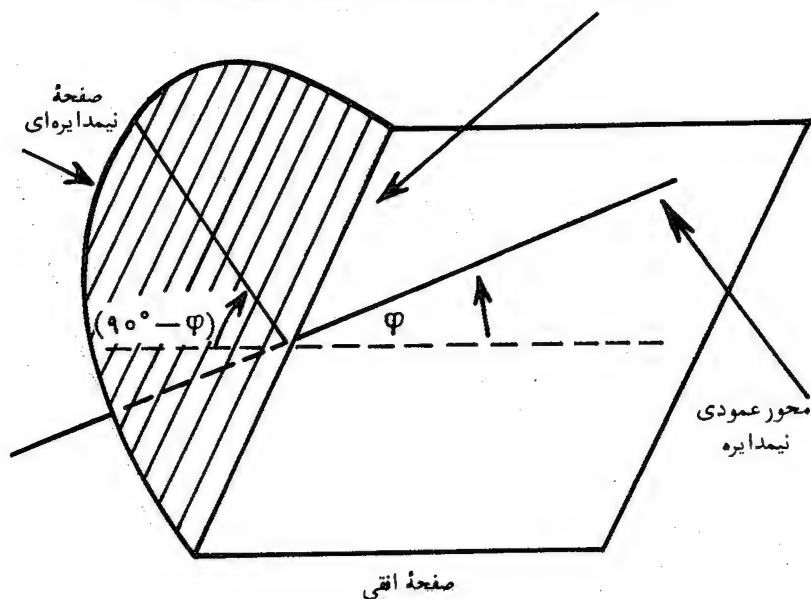
که در آن r شعاع صفحه دایره‌ای و δ میل خورشید است. البته باید توضیح داد که میل خورشید علاوه بر تغییرات روزانه، حتی در طول یک روز هم در حال تغییر است، لذا با توجه به فرمول فوق محل نقطه بر روی محور عمودی صفحه دایره‌ای، مطلقاً ثابت نمی‌باشد.

این توضیح هندسی را می‌توان در ساخت یک وسیله ساده، برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی مطابق شکل (۲-۳۸) بکار برد. وسیله از یک نیم‌دایره، که قطر آن کاملاً بطور افقی و محور قائم آن موازی محور زمین است، تشکیل شده است. لذا زاویه بین محور قائم صفحه نیم‌دایره‌ای و صفحه افق، برابر عرض جغرافیایی محل (φ) و در نتیجه، زاویه خود صفحه نیم‌دایره‌ای با صفحه افق برابر ($90^\circ - \varphi$) خواهد

بود. اگر این وسیله، طوری بصورت افقی قرار گیرد که قطر آن در امتداد خط مشرق-مغرب جغرافیایی باشد، لبه سایه نیمدایره، محور قائم آن را در نقطه صحیح مورد نظر، بنحوی که در بالا اشاره شد، قطع خواهد کرد. برعکس اگر وسیله، بصورت صحیح قرار نگرفته یعنی قطر آن در امتداد خط مشرق-مغرب حقیقی نباشد، در نتیجه، صفحه نیمدایره‌ای، موازی صفحه دایره استوا نبوده و لبه سایه آن، محور عمودی آن را در نقطه صحیح مورد نظر قطع نخواهد کرد.

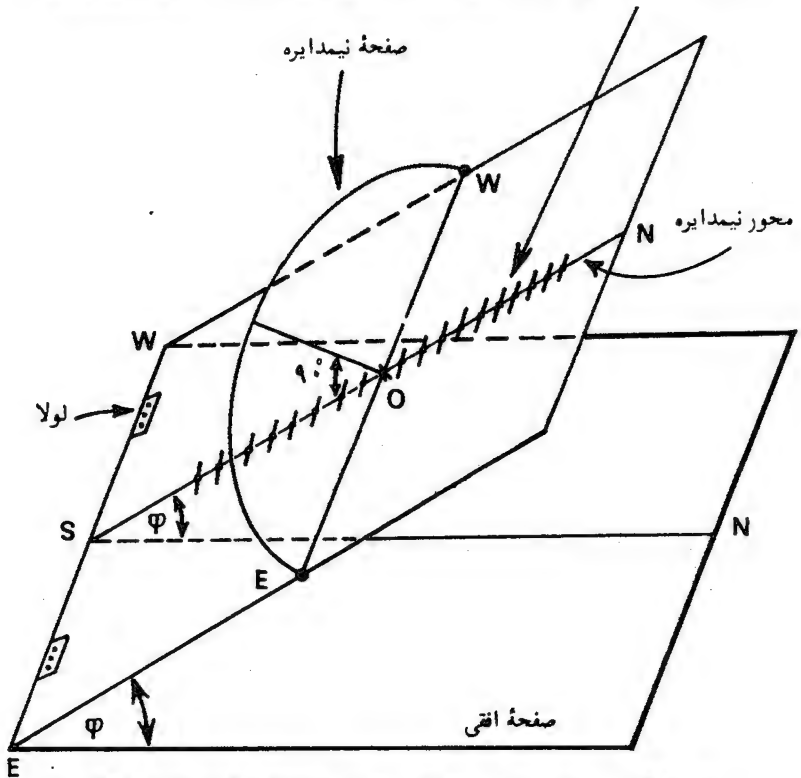
بنابراین از این وسیله می‌توان برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی استفاده کرد. بدین ترتیب که وسیله را بر روی یک صفحه افقی، آنقدر می‌چرخانیم که لبه سایه صفحه نیمدایره‌ای، محور عمودی آن را دقیقاً در نقطه صحیح با فاصله γ از مرکز نیمدایره که از فرمول (۲-۵) با توجه به اندازه میل خورشید در تاریخ روز آزمایش محاسبه می‌شود، قطع کند. در این صورت قطر صفحه نیمدایره، در امتداد خط مشرق-مغرب حقیقی و خط عمود بر آن، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی خواهد بود. شکل (۲-۳۸)، یک شمای ساده است و در آن صفحه‌ای که محور نیمدایره بر

قطر نیمدایره، امتداد خط مشرق مغرب حقیقی را مشخص می‌کند.



شکل (۲-۳۸) — شمای ساخت وسیله ساده برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی

روی آن رسم می گردد، نشان داده نشده است. چنین صفحه ای با صفحه افق، زاویه ای برابر با عرض جغرافیایی محل، می سازد که بر صفحه نیمدایره عمود است. محور عمودی نیمدایره را می توان بر این صفحه رسم کرده، محل دقیق نقطه هایی که لبه سایه، آن را در روزهای سال قطع می کند، بر روی آن درجه بندی کرد. این صفحه می تواند مطابق شکل (۲-۳۹)، حول لولایی حرکت کند که در نتیجه بتوان وسیله را برای عرضهای مختلف جغرافیایی بکار گرفت، چه مطابق فرمول (۲-۵)، طول فاصله γ تابع عرض جغرافیایی محل نیست. البته چنانکه در این شکل مشاهده می شود، درجه بندی مربوط به لبه سایه صفحه نیمدایره ای در دو طرف محور آن، نشان داده شده است. این بدان جهت است که شش ماه از سال (بهار و تابستان در نیمکره شمالی) خورشید بر بالای صفحه نیمدایره ای تابیده و شش ماه دیگر بر زیر آن خواهد تابید، چه، صفحه درجه بندی نقاط تقاطع لبه سایه صفحه نیمدایره ای با محور آن در روزهای مختلف سال.



شکل (۲-۳۹) - شمای ساخت وسیله ساده برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در عرضهای جغرافیایی مختلف.

نیمدایره‌ای به موازات صفحه دایره استوای زمین است. در روز اول بهار و پاییز خورشید بر امتداد صفحه، قرار گرفته و لذا سایه آن بر روی خط EW خواهد افتاد.

دقت این روش بستگی به دقت ساخت وسیله، و دقت در قراردادن آن دارد. همچنین این روش، در صورتی دقیقتر است که وسیله را صبح زود و یا قبل از غروب آفتاب بکار برد و در نزدیکیهای ظهر، دقت آن کمتر است. دقت این وسیله بشرطی که در چهار ساعت وسط روز بکار نرود، می‌تواند در حدود یک درجه باشد. بنابراین چنین وسیله‌ای را می‌توان برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، بشرط دانستن عرض جغرافیایی محل، در هر مکانی بکار گرفت.

۱۲. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از ساعت‌های خورشیدی^۱

چنانکه می‌دانیم یک ساعت خورشیدی وسیله‌ای است که وقت را براساس حرکت ظاهری روزانه خورشید تعیین می‌کند. بیشتر انواع مختلف ساعت‌های خورشیدی، دارای یک میله، دستک و یا تیغه‌ای به نام شاخص^۲ اند که بر روی صفحه‌ای مدرج نصب می‌شوند. سایه شاخص بر روی صفحه مدرج، حکم عقربه^۳ را دارد.

ساعت‌های خورشیدی وقت شمسی حقیقی^۴ محل را نشان می‌دهند و برای اینکه بتوان وقت نشان داده شده توسط آنها را به وقت رسمی تبدیل کرد، می‌بایست مطابق آنچه که قبلاً اشاره شد، تصحیحات مربوط به تعدیل زمان و اختلاف طول جغرافیایی را منظور داشت.

شاید ساعت خورشیدی، قدیمی‌ترین ابزار علمی^۵ باشد. تا قرن نوزدهم، معمول‌ترین وسیله سنجش وقت بود. با افزایش میزان دقت ساعت‌های مکانیکی و رواج وقت رسمی و یا استاندارد به مقیاسی وسیع در قرن نوزدهم، از ارزش عملی ساعت‌های خورشیدی کاسته شد، اما موارد استفاده آنها کاملاً از بین نرفت.

انواع ساعت‌های خورشیدی را می‌توان در دو دسته کلی، طبقه‌بندی کرد. دسته اول براساس تغییر ارتفاع خورشید در طول روز کار می‌کنند و به نام ساعت‌های خورشیدی ارتفاعی^۶ موسوم‌اند. ارتفاع خورشید در یک نقطه با عرض جغرافیایی مشخص، به میل خورشید و وقت روز، بستگی دارد و تغییر طول سایه یک شی، بعلا تغییرات ارتفاع خورشید است. بعضی از انواع ساعت‌های خورشیدی قابل حمل اند^۷ و شاید طبیعی است

- | | | | |
|--------------------------|-------------------|----------------------|-------------------------------|
| 1. Sundials | 2. Gnomon | 3. Pointer | 4. Solar Apparent (Real) Time |
| 5. Scientific Instrument | 6. Altitude Dials | 7. Portable Sundials | |

که در این گونه موارد از ساعت‌های خورشیدی ارتفاعی استفاده کرد. زیرا بهنگام کاربرد ساعت‌های خورشیدی ارتفاعی، نیازی به دانستن امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، نیست. دسته دوم براساس سمت و یا زاویه ساعتی خورشید کار می‌کنند. این گونه ساعت‌ها را ساعت‌های خورشیدی جهتی^۱ می‌نامند. در این مورد، وقت از روی جهت سایه، بجای طول سایه، سنجیده می‌شود. کاربرد ساعت‌های خورشیدی قابل حمل از نوع جهتی، ساده نیست، چه، می‌بایست، قبل از بکار بردن آنها، به‌طریقی امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل تعیین گردد و ساعت دقیقاً در امتداد خط نصف‌النهار محل قرار داده شود.

این مطلب قبل از اختراع قطب‌نما، کار ساده‌ای نبود. در طول قرن‌های هجدهم و نوزدهم، انواعی از ساعت‌های خورشیدی جهتی قابل حمل، که مجهز به قطب‌نما بودند، ساخته شد که قطعاً نمی‌شد از آنها انتظار دقت زیادی را داشت. کمی دقت این گونه ساعت‌ها، چنانکه قبلاً نیز اشاره شده، بعلت عدم انطباق همیشگی امتداد خط نصف‌النهار محل بر امتداد شمال و جنوب مغناطیسی و همچنین اصطکاک عقربه مغناطیسی قطب‌نما است. چه، در وقت نشان داده شده توسط این گونه ساعت‌ها، هیچگونه تصحیحی به‌منظور جبران انحراف مغناطیسی و همچنین اصطکاک عقربه آن صورت نمی‌گرفت.

این تقیصه با ترکیب دو ساعت خورشیدی که هر کدام براساس یکی از پارامتر-های ارتفاع، سمت و زاویه ساعتی خورشید، متکی بودند، مرتفع گردید. این نوع ساعت‌ها را ساعت‌های خورشیدی ترکیبی^۲ می‌نامند. در این صورت صفحه مشترک دو ساعت، در جای خود آنقدر چرخانده می‌شود تا وقت نشان داده شده توسط دو ساعت، یکی باشد. در این صورت ساعت خورشیدی ترکیبی، خود بخود، در امتداد خط نصف-النهار محل قرار می‌گیرد.

ساعت‌های خورشیدی را می‌توان در جهت یابی، بصورت‌های مختلف بکار برد. چون موضوع، از نظر یافتن قبله، دارای اهمیت تاریخی است، لذا فصل سوم کتاب به این مطلب اختصاص داده شده است و در اینجا، خواننده می‌تواند. شرح کامل روش را در فصل بعدی پیگیری کند.

البته کتاب دیگری به نام ساعت‌های خورشیدی، اصول و راهنمای ساخت، جلد اول. از همین مؤلف توسط انتشارات امیرکبیر طبع رسیده که خوانندگان محترم

می توانند برای مطالعه بیشتر در مورد ساعت های خورشیدی بطور کلی، به آن مراجعه کنند.

تا اینجای مطلب، روش های متعددی برای یافتن امتداد شمال و جنوب جغرافیایی بیان شد که می تواند با اندکی دقت و صرف وقت توسط همه کس بسادگی قابل اجرا باشد. بد نیست در ادامه مطلب، به روش های معمول در نجوم و نقشه برداری، اشاره مختصری داشته باشیم:

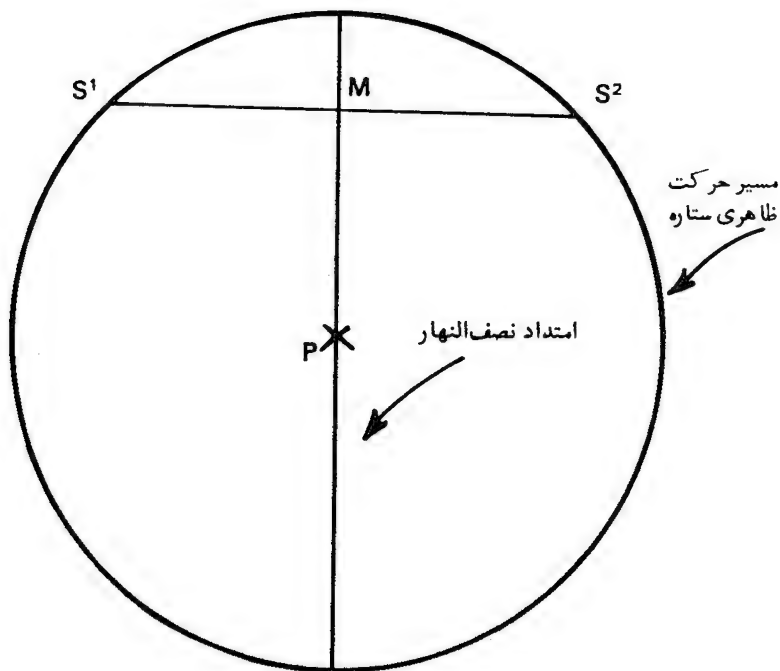
۱۳. تعیین امتداد قطب سماوی با رصد یک ستاره در ارتفاع های برابر

ساده ترین روش تعیین امتداد قطب سماوی، شاید روش رصد یک ستاره در ارتفاع های برابر باشد. در این روش، دانستن طول و عرض جغرافیایی و زمان محلی مکان مورد نظر، ضروری نیست. اما طول مدت رصد، که از چهار تا شش ساعت در شب به درازا می کشد، از معایب این روش است. بعلاوه، ممکن است میزان شکست نور ستاره در اتمسفر زمین، به مقدار قابل توجهی در طول مدت رصد تغییر کرده، در ارتفاع ستاره به اندازه غیر مشخصی اثر گذارد.

اگر در شکل (۴۰-۲)، نقطه P نشانه قطب سماوی باشد، دایره ای که به مرکز P رسم شده، نمایانگر مسیر حرکت ظاهری یک ستاره، به دور آن است. فرض کنید ارتفاع ستاره S در وضعیتی مانند S_1 با وسایل نجومی، اندازه گیری شود. حال اگر ناظر صبر کند و ارتفاع وسیله خود را تغییر ندهد، او دوباره همان ستاره را در وضعیت S_2 خواهد دید. واضح است که نقطه M ، در وسط S_1 و S_2 ، بر صفحه قائمی که از قطب سماوی گذرمی کند، قرار داشته، در نتیجه امتداد نصف النهار سماوی را مشخص خواهد ساخت.

اساس روش ذکر شده در مطلب شماره (۱) در این فصل، که امتداد نصف النهار جغرافیایی یک محل با اندازه گیری دو ارتفاع مساوی خورشید تعیین می شود، بر همین روش متکی است.

چنانکه ملاحظه شد، در این روش، ناظر، می بایست مدتی در انتظار بماند که دوباره همان ستاره را در همان ارتفاع قبلی مشاهده کند. لذا بعلت طول مدت رصد، روش های مناسب دیگر، بکار گرفته می شوند.



شکل (۲-۴۰) — تعیین امتداد نصف النهار با رصد یک ستاره در ارتفاعهای برابر

۱۴. تعیین امتداد قطب سماوی با رصد یک ستاره دور قطبی^۱ در وضعیت دورترین فاصله^۲ از نصف النهار سماوی مکان

یک ستاره دور قطبی، همیشه بالای افق است و بنابراین هیچوقت غروب نمی کند و مطابق شکل (۲-۴۱) ظاهراً مسیری دایره ای را به دور قطب سماوی طی می کند. چنانکه در این شکل مشاهده می شود، ستاره^۳ M در وضعیت های^۴ M_۱ و M_۲ دارای بیشترین فاصله از نصف النهار ناظر است. در حقیقت دایره های عمودی^۵ ستاره، در وضعیت های^۴ M_۱ و M_۲ با صفحه نصف النهار ناظر، بیشترین زاویه را می سازند. از این دو وضعیت خاص یکی در طرف مشرق^۶ و دیگری در طرف مغرب^۵ نصف النهار صورت می گیرد.

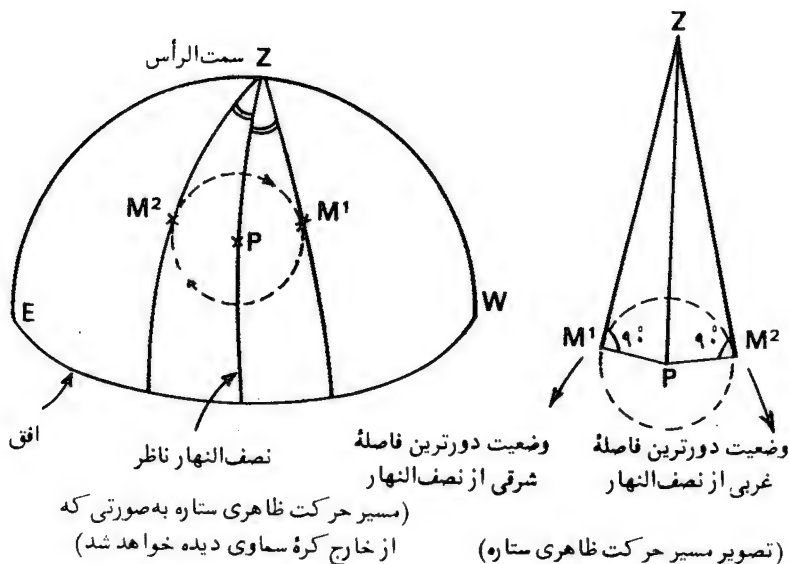
1. Circumpolar Star

2. Star at Elongation

3. Vertical Circles

4. Eastern Elongation

5. Western Elongation



شکل (۲-۴۱) — تعیین امتداد نصف النهار سماوی با رصد یک ستاره در دورترین فاصله از نصف النهار

در این روش، می بایست عرض جغرافیایی محل رصد معلوم باشد. سپس یک ستاره مناسب انتخاب گردد و از روی جدول نجومی میل ستاره تعیین شود. سپس با استفاده از فرمولهای مثلث نجومی^۱، سمت ستاره در وضعیت دورترین فاصله از نصف النهار ناظر، محاسبه شود. البته زمانی که ستاره در هر یک از دو وضعیت مذکور قرار می گیرد، محاسبه آن پسادگی، با استفاده از فرمولهای مربوط قابل انجام است. بنابراین در لحظه ای که ستاره در وضعیت دورترین فاصله قرار می گیرد، سمت آن معلوم بوده، در نتیجه با رصد ستاره در این وضعیت، امتداد نصف النهار سماوی معلوم می گردد. این روش گرچه بسیار دقیق و مناسب است، اما معایبی هم دربردارد که اهم آنها بقرار زیر است:

۱. تعداد ستارگان مناسب برای رصد در این روش محدودند.
۲. زمان رصد ستاره در لحظه بیشترین فاصله، می بایست قبلاً محاسبه شود.
۳. روش، برای مناطق نزدیک خط استوا مناسب نیست.

با این وجود، رصد لازم، در این روش ساده است و محاسبات مربوط نیز آسان و نتیجه کار هم دقیق می باشد.

۱۵. تعیین امتداد نصف النهار سماوی از راه تعیین زاویه ساعتی خورشید و یا یک ستاره

در این روش، سمت خورشید و یا یک ستاره، از راه تعیین زاویه ساعتی خورشید در لحظه ای که از سطح نصف النهار اصلی عبور کرده و یا در نزدیکی آن قرار می گیرد، بدست می آید. البته ارتفاع، اندازه گیری نمی شود و بنابراین خطای مربوط به شکست نور در اتمسفر زمین، وجود نخواهد داشت. برای انجام کار، به یک کرومومتر دقیق با میزان خطای معلوم، نیاز می باشد. بنابراین قبلاً می بایست میزان خطای کرومومتر از راه مشاهدات نجومی تعیین شده باشد. لحظه دقیق رصد، توسط کرومومتر تعیین شده، سپس بُعد ستاره و یا خورشید از جدول نجومی تعیین و با استفاده از رابطه های مربوط، زاویه ساعتی لحظه رصد محاسبه می شود. سپس با معلوم بودن عرض جغرافیایی محل، میل خورشید و یا ستاره و زاویه ساعتی، سمت خورشید و یا ستاره، محاسبه شده و بنابراین امتداد نصف النهار سماوی، بدست می آید.

این روش، گرچه آسان است و نتایج خوبی بدست می دهد، اما خطای کرومومتر، می بایست قبلاً طی یک مشاهده نجومی دیگری معلوم شده باشد.

۱۶. تعیین امتداد نصف النهار سماوی از راه رصد ستاره قطبی و یا یک ستاره نزدیک به قطب^۲

دقیق ترین روش تعیین امتداد نصف النهار سماوی از راه رصد یک ستاره نزدیک به قطب و محاسبه سمت آن، صورت می گیرد. زمان دقیق هر رصد بوسیله کرومومتر تعیین شده، سپس زاویه ساعتی ستاره محاسبه می شود. آنگاه سمت ستاره از راه فرمولهای مثلث نجومی محاسبه می گردد. سمت ستاره های نزدیک قطب در حین رصد بمیزان بسیار کمی تغییر می کند و بنابراین خطای ناشی از اندازه گیری زمان، اثر کمی در سمت محاسبه شده، دارد. انتخاب ستارگان نزدیک قطب فقط برای کارهای دقیق صورت می گیرد. از آنجایی که ستاره قطبی (α (آلفا) - دب اصغر) روشنترین ستاره نزدیک به قطب

است، لذا این ستاره بر ستارگان دیگر ارجحیت دارد. ستاره قطبی، به قطب شمال سماوی بسیار نزدیک بوده، فاصله قطبی آن در حدود یک درجه و ۱۰ دقیقه است. مزیت این ستاره در این است که بعلت روشنتر بودن آن، می‌توان رصد را در تاریک روشن شامگاهی^۱ (فلق) به انجام رساند و دیگر نیازی به ایجاد روشنایی برای کار با ابزار نجومی نمی‌باشد.

در مقایسه با روش داده شده در مطلب شماره (۱۴) در این فصل، این روش، برتری دارد. چه، در اینجا، رصد ممکن است در هر وقتی صورت گیرد و نیازی به محاسبه وقت وضعیت بیشترین فاصله ستاره و انتظار برای وقوع آن، نیست.

۱۷. تعیین امتداد نصف‌النهار سماوی از راه رصد خورشید و یا یک ستاره در وضعیت خارج از نصف‌النهار^۲

این روش، گرچه بسیار مناسب است اما در کارهای بسیار دقیق، بکار گرفته نمی‌شود. در اینجا ارتفاع ستاره اندازه‌گیری شده، پس از تعیین میل ستاره و مشخص کردن عرض جغرافیایی محل، با استفاده از فرمولهای مثلث نجومی سمت آن محاسبه می‌شود. در اینجا می‌بایست ارتفاع اندازه‌گیری شده را برای خطای ناشی از شکست نور تصحیح کرد. میزان این خطا برای ستارگانی که در نزدیک افق هستند معلوم نیست و لذا می‌بایست ستاره‌ای را انتخاب کرد که ارتفاعش حداقل ۳۰ درجه باشد. همچنین رصد ستاره، باید در زمانی صورت گیرد که تغییرات ارتفاع آن زیاد و تغییرات سمت آن کم باشد. وضعیت مناسب برای رصد، در وقت عبور ستاره از سطح نصف‌النهار اصلی است، که اثر خطای ناشی شده از اندازه‌گیری ارتفاع، کمتر است.

در مورد رصد خورشید بعلت تغییرات بیشتر میل آن، می‌بایست وقت رصد نیز تعیین شده و در نتیجه، میزان دقیق میل خورشید با توجه به این وقت، از جدول نجومی تعیین شود. بعلاوه در مورد خورشید بعلت نزدیکی نسبی آن به زمین، در مقایسه با ستارگان، لازم است ارتفاع اندازه‌گیری شده را برای اختلاف منظر، نیز تصحیح کرد.

۱۸. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با وسایل ژيروسکوپی

جهت یابی از راه روشهای نجومی، به آسمانی صاف نیاز دارد که بتوان ستارگان را در آن، رصد کرد. برای حالتی که روشهای قبلی، امکان کاربرد نداشته باشد، می توان از وسیله ای به نام جهت یاب ژيروسکوپی استفاده کرد. اساس کار این دستگاه بر مبنای دوران یک حلقه، حول محورش، استوار است که خود محور نیز حول نقطه ای از آن، آزادی دوران دارد. موقعی که حلقه با سرعت زیاد حول محورش به چرخش درآید، محور با گردش از چپ به راست یک مخروط دورانی را در فضا می پیماید. در مکانیک، ثابت شده است که حرکت مخروطی محور، نتیجه حرکت چرخشی زمین بوده و محور مخروط، بموازات محور زمین خواهد بود.

جهت یابی با ساعتهای خورشیدی

در مطلب شماره (۱۲) در فصل دوم، بطور مختصر، مطالبی درمورد کاربرد ساعتهای خورشیدی در جهت یابی، بیان شد. اما از نظر اهمیت مطلب، شرح کاملتر آن را در این فصل ملاحظه می کنید. با توجه به راهنماییهای ارائه شده در این فصل، می توان بسادگی یک قطب نمای خورشیدی^۱ ساخت. این مطلب دارای سابقه تاریخی است. چه، مسلمین از ترکیب دو ساعت خورشیدی برای یافتن جهت قبله، در قرن چهاردهم استفاده کرده اند.

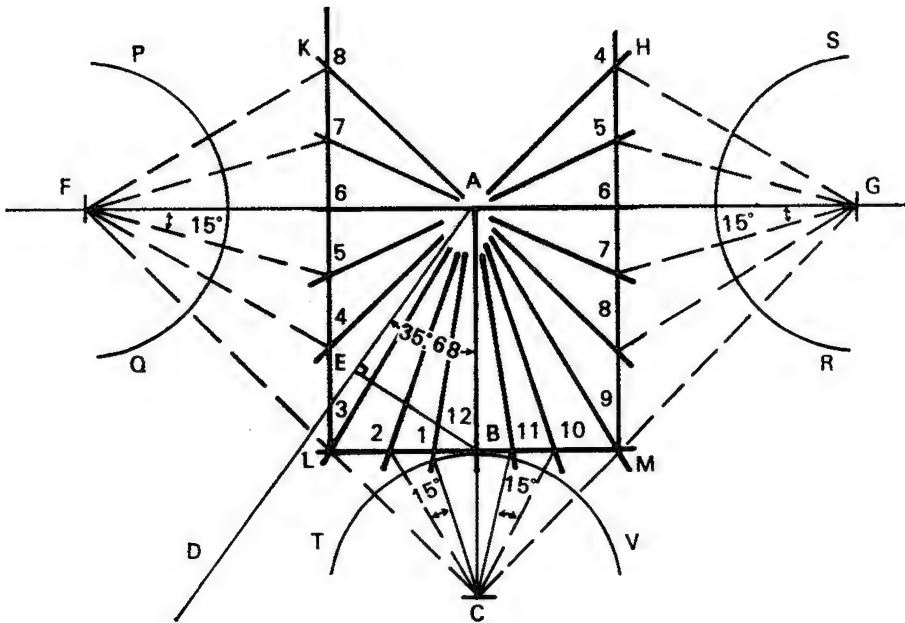
برای اینکه بتوان یک قطب نمای خورشیدی^۱ ساخت، می بایست طرز درجه بندی صفحه^۲ سه نوع ساعت خورشیدی را، که براساس ارتفاع، سمت و زاویه ساعتی خورشید، کار می کنند، دانست. چنانکه قبلاً گفته شد، ساعتهایی که براساس ارتفاع خورشید کار می کنند، ساعتهای خورشیدی ارتفاعی و آنهایی که براساس سمت و یا زاویه ساعتی خورشید استوارند، ساعتهای خورشیدی جهتی، نامیده می شوند. از ترکیب دو نوع از سه نوع ساعت خورشیدی فوق الذکر، می توان قطب نمای خورشیدی ساخت. اما برای آنکه بتوان مطلب را بصورت دقیق مورد بررسی قرار داد، در ابتدا درجه بندی صفحه^۳ سه نوع ساعت خورشیدی برای عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی ($\varphi = 35^{\circ}41'N$) محاسبه و رسم می شود:

۱. درجه بندی صفحه^۲ ساعت خورشیدی افقی^۲

ساعتهای خورشیدی افقی براساس زاویه ساعتی خورشید کار می کنند. صفحه^۲

این ساعتها به موازات صفحه افق قرار داده می شوند. در شکل (۱-۳) درجه بندی این نوع ساعت، برای عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی نمایانده شده است. لبه شاخص^۱ این نوع ساعت خورشیدی بسوی قطب شمال سماوی قرار می گیرد. قاعده شاخص^۲ بر خط مربوط به ساعت دوازده ظهر خورشیدی منطبق است. خط مربوط به ساعت دوازده ظهر، که نشانه عبور خورشید از نصف النهار محل است، می بایست دقیقاً در امتداد خط نصف النهار جغرافیایی محل قرار گیرد. ارتفاع زاویه ای لبه شاخص^۳ از صفحه ساعت، برابر عرض جغرافیایی محل است. محل تقاطع خطوط درجه بندی صفحه ساعت به نام مرکز ساعت خورشیدی^۴ موسوم است.

درجه بندی صفحه این نوع ساعت خورشیدی به دو صورت ترسیمی و محاسباتی صورت می گیرد:



شکل (۱-۳) - درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی افقی با روش ترسیمی برای عرض جغرافیایی ۳۵°/۴۱' شمالی.

۱-۱. روش ترسیمی

مراحل درجه بندی صفحه ساعت با روش ترسیمی بقرار زیر است:

۱. خط افقی FAG، که تشکیل خط ساعت ۶ صبح و ۶ بعد از ظهر را می دهد،

رسم می شود.

۲. در نقطه A، خط AC عمود بر FAG رسم می گردد. این خط، تشکیل خط ساعت ۱۲ ظهر را می دهد.

۳. خط AD بصورتی رسم می شود که با خط AC زاویه ای برابر با عرض جغرافیایی محل بسازد ($\angle DAC = 35^\circ / 68$).

۴. از نقطه B بر روی AC، خط BE عمود بر خط AD رسم می گردد.

۵. طول BC برابر طول BE انتخاب شده، سپس طولهای AG و AF برابر طول AC جدا می گردند.

۶. از نقاط F و G خطوط FC و GC به نقطه C وصل می شوند. سپس از نقطه B خطی به موازات خط FG رسم می شود. این خط FC را در نقطه L و GC را در نقطه M قطع خواهد کرد. آنگاه از نقاط L و M، خطوط LK و MH به موازات AC رسم می گردند.

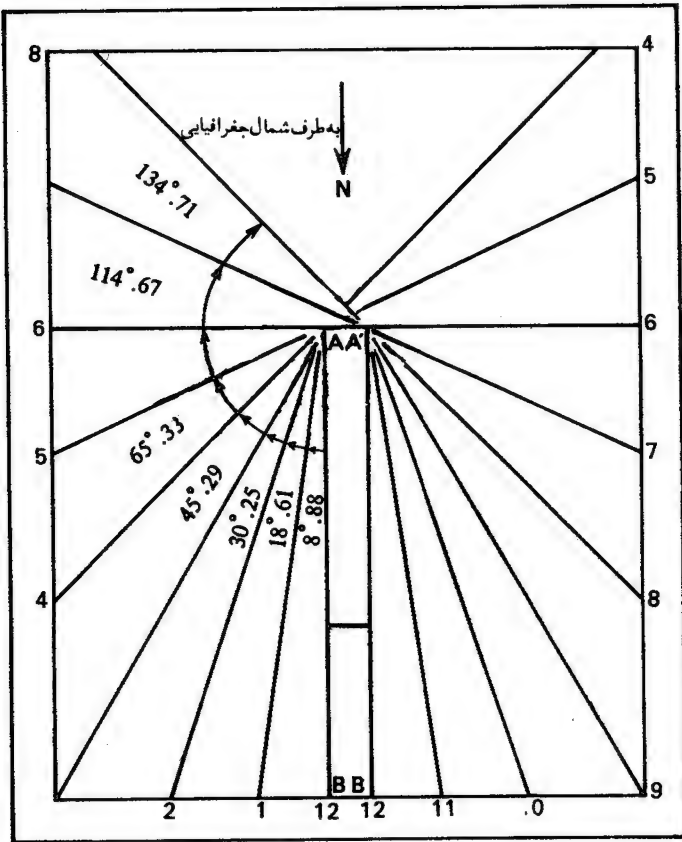
۷. به مراکز C، F و G و به شعاع برابر طول BC، کمانهای TV، PQ و RS رسم می شوند.

سپس این کمانها مطابق شکل، به قطعات ۱۵ درجه ای تقسیم می گردند. آنگاه از نقاط F، C و G خطوطی به نقاط بدست آمده بر روی کمانها، طوری وصل می شوند که خطوط KL، LM و MH را قطع کنند. در مرحله بعد، نقطه A به نقاط بدست آمده بر روی خطوط KL، LM و MH وصل می گردند. همچنین نقطه A به نقاط L و M نیز وصل می شود. خطوط بدست آمده، تشکیل درجه بندی صفحه ساعت را می دهند.

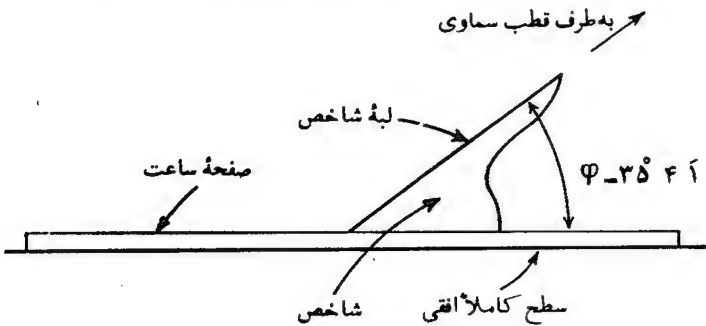
می توان از تقسیم کمانهای TV، PQ و RS به قطعات کوچکتر، در فواصل بین خطوط بدست آمده، خطوط مربوط به زمانهای کمتر از یک ساعت را نیز رسم کرد. چه، کمان ۱۵ درجه ای معادل یک ساعت و در نتیجه، کمان ۷/۵ درجه ای معادل نیم ساعت و الی آخر خواهد بود.

در شکل (۲-۳)، درجه بندی بدست آمده بعد از انتقال بر صفحه ساعت خورشیدی، نشان داده شده است.

در شکل (۳-۳) چگونگی قرار گرفتن ساعت خورشیدی نمایانده شده، که مربوط به مقطع شمالی جنوبی آن است. طرز قرار گرفتن آن بدین گونه است که می بایست صفحه



شکل (۳-۲) - چگونگی قرار گرفتن درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی افقی.



شکل (۳-۳) - چگونگی قرار گرفتن ساعت خورشیدی افقی بر یک سطح تراز شده.

ساعت، کاملاً بصورت افقی بوده و امتداد لبه شاخص بسمت قطب شمال سماوی باشد، در اینصورت خط ساعت ۱۲ بر صفحه ساعت، در امتداد خط نصف النهار محل قرار خواهد داشت.

این ساعت، وقت شمسی حقیقی را در تمام طول سال، از طلوع تا غروب آفتاب (در عرض جغرافیایی مربوط به آن) نشان می‌دهد. بعداً در همین بخش، درمورد چگونگی استفاده از این ساعت در عرضهای جغرافیایی دیگر، توضیح داده خواهد شد.

۱-۲. روش محاسباتی

می‌توان درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی افقی را با استفاده از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$\tan X = \sin \phi \tan h \quad (۳-۱)$$

که در آن

X = فاصله زاویه ای درجات صفحه ساعت از قاعده شاخص.

ϕ = عرض جغرافیایی محل استقرار ساعت.

h = زاویه ساعتی خورشید برحسب درجه.

قبلاً درمورد زاویه ساعتی خورشید و ارتباط آن با وقت شمسی حقیقی، درمطلب شماره (۹) در فصل دوم توضیح داده شده است. مقادیر زاویه X برای عرض جغرافیایی $۳۵^{\circ} ۴۱'$ از روی فرمول فوق، محاسبه شده و نتایج آن، در جدول (۳-۱) داده شده است. ادامه کار، ساده خواهد بود، چه، با استفاده از یک نقاله، خطوط ساعت، بسهولة قابل رسم است. البته برای کار دقیقتر، می‌توان بجای نقاله از مقادیر $\tan X$ استفاده کرد. کافی است که مقادیر تانژانت را بر روی خط عمود بر قاعده شاخص، جدا کرده، نقطه بدست آمده را به مرکز درجه بندی صفحه ساعت وصل کنیم. این، در صورتی است که مقدار زاویه X کمتر از ۴۵ درجه باشد. برای مقادیر X بزرگتر از ۴۵ درجه، کتانژانت زاویه X بر روی خط عمود بر خط ساعت ۶ صفحه ساعت، جدا می‌شود.

لازم است اشاره شود که فرمول (۳-۱) با فرض ثابت بودن اندازه میل خورشید در طول روز، بدست آمده است، بعبارت دیگر از تغییرات کم میل خورشید در طول روز صرف نظر شده است. علاوه بر این مطلب، سه نکته مهم دیگر در ارتباط با این نوع ساعت خورشیدی، در ذیل، بیان می‌گردد.

نکته اول اینکه، وقتی که درجه بندی بدست آمده (چه از روش ترسیمی و چه از

جدول (۳-۱) — فاصله زاویه ای خطوط درجه بندی صفحه ساعت از قاعده شاخص برای عرض جغرافیای ۳۵°۴۱

وقت شمسی حقیقی	زاویه X بر حسب درجه	وقت شمسی حقیقی
ظهر خورشیدی ۱۲/—	۰	—
بعد از ظهر ۱/—	۸°/۸۸	صبح ۱۱/—
» ۲/—	۱۸°/۶۱	» ۱۰/—
» ۳/—	۳۰°/۲۵	» ۹/—
» ۴/—	۴۵°/۲۹	» ۸/—
» ۵/—	۶۵°/۳۳	» ۷/—
» ۶/—	۹۰°/—	» ۶/—
» ۷/—	۱۱۴°/۶۷	» ۵/—
» ۸/—	۱۳۴°/۷۱	» ۴/—

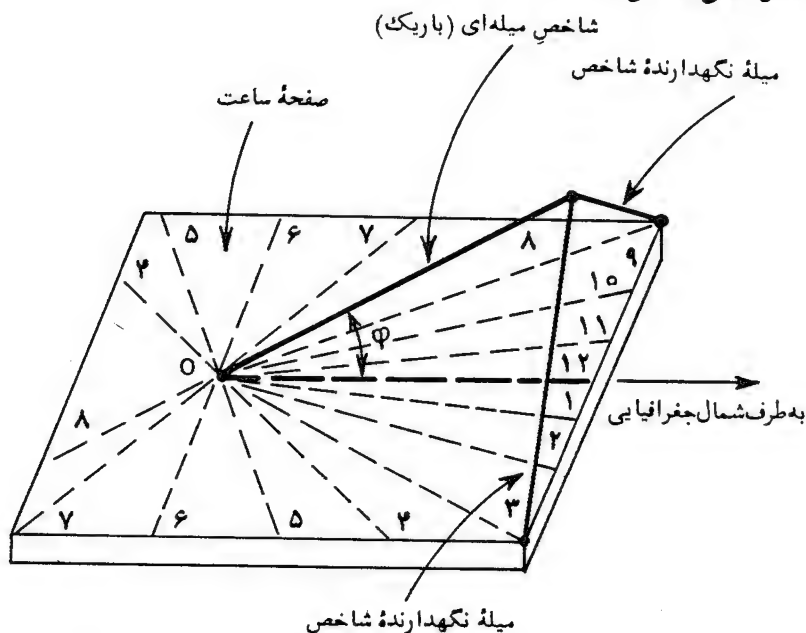
روش محاسباتی) بر صفحه ساعت منتقل می گردد، می بایست ضخامت شاخص در نظر گرفته شود. این مطلب در مورد انواع مختلف ساعت های خورشیدی مصداق دارد. برای فهم این مطلب، در شکل (۳-۲) ضخامت شاخص بصورت اغراق آمیزی نشان داده شده است، بدین صورت که AA' و BB' نمایانگر ضخامت شاخص اند. همچنین باید توجه داشت که خطوط مربوط به ساعت های ۷ و ۸ بعد از ظهر در همان امتداد خطوط ساعت های ۷ و ۸ صبح اند و در مورد ساعت های ۴ و ۵ صبح نیز وضع به همین منوال است. چه، در این صورت است که شکل (۳-۲) از نظر امتداد خطوط ساعت با شکل (۳-۱) هماهنگی خواهد داشت.

نکته دوم اینکه، در اساس این نوع ساعت ها، فرض بر اینست که شاخص بصورت میله ای خیلی باریک باشد که سایه آن در لحظه انطباق آن با مرکز خورشید بر روی صفحه ساعت بیفتد. اما در اغلب موارد، همچنانکه در شکل (۳-۳) نمایانده شده، از یک صفحه، بعنوان شاخص استفاده شده و سایه لبه آن بر روی صفحه ساعت می افتد. در این صورت حد سایه، مربوط به نور قسمت کناری قرص خورشید بوده و به مرکز خورشید مربوط نمی باشد. در نتیجه، در ساعات قبل از ظهر، سایه باندازه یک دقیقه

وقت را کمتر و در ساعات بعد از ظهر باندازه یک دقیقه جلوتر نشان خواهد داد. توضیح این مطلب ساده است چه، قرص خورشید از دید ناظر با زاویه ای در حدود ۳۲ دقیقه دیده می شود و یا عبارت دیگر فاصله زاویه ای قرص خورشید در حدود ۳۲ دقیقه است. بنابراین فاصله زاویه ای کناری ترین نقطه قرص خورشید تا مرکز آن، در حدود ۱۶ دقیقه زاویه ای است که چون به زمان تبدیل شود، همان نتیجه یک دقیقه حاصل می گردد:

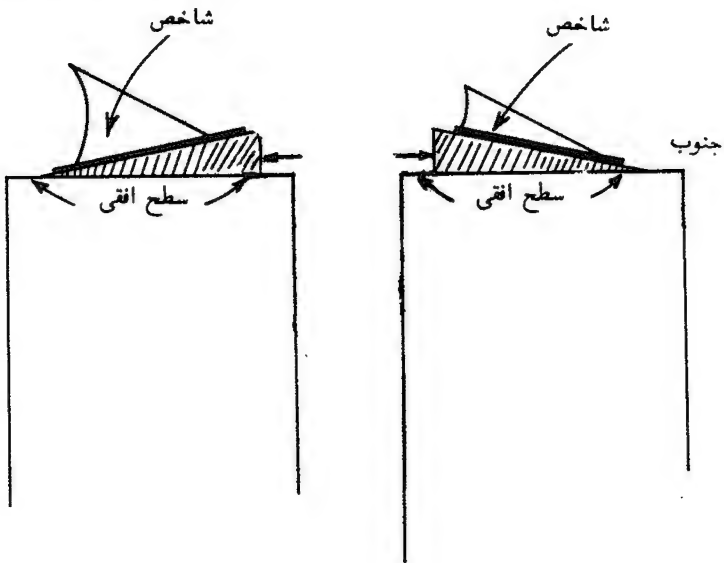
$$\left(\frac{16 \times 60}{60 \times 15} = 1/0.67 \text{ دقیقه} \right)$$

به همین دلیل، گاهی بجای اینکه شاخص را از یک صفحه مثلثی شکل بسازند. آن را از یک میله باریک سیم مانند که با صفحه ساعت، زاویه ای برابر عرض جغرافیایی محل می سازد، درست می کنند. در چنین صورتی، شاخص میله ای با دو میله نگه دارنده مطابق شکل (۳-۴)، در جای خود محکم نگهداشته می شود. این نوع شاخص را شاخص سیمی^۲ نیز می نامند.



شکل (۳-۴) - شمای ساعت خورشیدی افقی با شاخص میله ای (باریک). میله OP با صفحه ساعت، زاویه ای برابر عرض جغرافیایی محل (φ) می سازد.

نکته سوم اینکه، قبلا اشاره شد که چون صفحه این گونه ساعتها بصورت افقی قرار داده می شوند، آنها را ساعت‌های خورشیدی افقی می نامند. اگر قرار باشد که صفحه این ساعتها فقط بحالت افقی باشد، در این صورت تنها، در عرض جغرافیایی مربوط مورد استفاده دارند. اما می توان با شیب دادن صفحه یک ساعت خورشیدی افقی، آن را در عرض جغرافیایی دیگری نیز بکار برد. این مطلب در شکل (۵-۳) نشان داده شده است. کافی است که صفحه ساعت را باندازه تفاوت عرض جغرافیایی محل جدید و عرض جغرافیایی محلی که ساعت برای آن ساخته شده، شیب بدهیم. در این شکل، ناظر در سمت غربی ساعت قرار گرفته و ساعت خورشیدی دست چپ شکل، برای محلی با عرض جغرافیایی کمتر، بکار گرفته شده و لذا صفحه آن باندازه تفاوت عرضهای جغرافیایی به سمت شمال، شیب داده شده، درحالیکه ساعت خورشیدی دست راستی، در محلی با عرض جغرافیایی بیشتر، مورد استفاده قرار گرفته است و لذا صفحه آن باز باندازه تفاوت عرضهای جغرافیایی، توسط گوه به سمت جنوب، شیب داده شده است.



شکل (۵-۳) - بکار بردن ساعت خورشیدی افقی در عرض جغرافیایی متفاوت. ساعت دست راستی در عرض جغرافیایی بیشتر و سمت چپی در عرض جغرافیایی کمتر بکار گرفته شده است. در هر دو صورت انداذه شیب صفحه ساعتها برابر تفاوت عرضهای جغرافیایی است.

در هر دو صورت با شیب دار نمودن صفحه ساعت، لبه شاخص، در امتداد قطب سماوی قرار گرفته و زاویه آن با سطح افق محل، برابر عرض جغرافیایی آن شده است، و یا عبارت دیگر لبه شاخص به موازات محور زمین قرار گرفته است.

۲. درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی از نوع سمتی افقی^۱

چنانچه از اسم این نوع ساعت خورشیدی برمی‌آید، اساس کار آن بر سمت خورشید استوار بوده، صفحه آن طوری به‌حالت افقی قرار می‌گیرد که خط ساعت ۱۲ در امتداد نصف‌النهار محل قرار داشته باشد. شاخص آن از یک میله قائم تشکیل شده است. درجه بندی این ساعت، با استفاده از تاریخ قرار گرفتن خورشید در برج‌های دوازده‌گانه منطقه البروج^۲ بدست می‌آید. در شکل (۳-۶) درجه بندی این ساعت برای عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه نشان داده شده است. این درجه بندی در طی مراحل ذیل بدست آمده است:

۱. خط عمودی PB بر صفحه ساعت رسم شده است.

۲. کمان CBE به مرکز P و شعاع PB رسم شده است. این کمان، نمایانگر ورود خورشید در برج سرطان^۳ و یا نقطه انقلاب تابستانی^۴ در روز اول تابستان (اول تیرماه و یا بیست و یکم ماه ژوئن) است.

۳. نقطه D بر روی خط PB طوری مشخص شده است که فاصله PD تقریباً برابر یک سوم طول PB است.

۴. کمان GDH به مرکز P و شعاع PD رسم شده است. این کمان نمایانگر ورود خورشید در نقطه انقلاب زمستانی^۵ در روز اول زمستان (اول دی‌ماه و یا بیست و دوم ماه دسامبر) است.

۵. فاصله DB به شش قسمت برابر تقسیم شده است. سپس به مرکز P تعدادی کمان متحد‌المرکز طوری رسم شده‌اند که از نقاط بدست آمده عبور کنند. این کمانها نمایانگر ورود خورشید در سایر برج‌هاست. کمان وسطی KL نمایانگر ورود خورشید در نقطه اعتدال بهاری^۶ در اول بهار (اول فروردین ماه و یا بیست و یکم ماه مارس) و نقطه اعتدال پاییزی^۷ در اول پاییز (اول مهرماه و یا بیست و سوم ماه سپتامبر) است.

1. Horizontal-Azimuth Dial

2. Signs

3. Zodiac

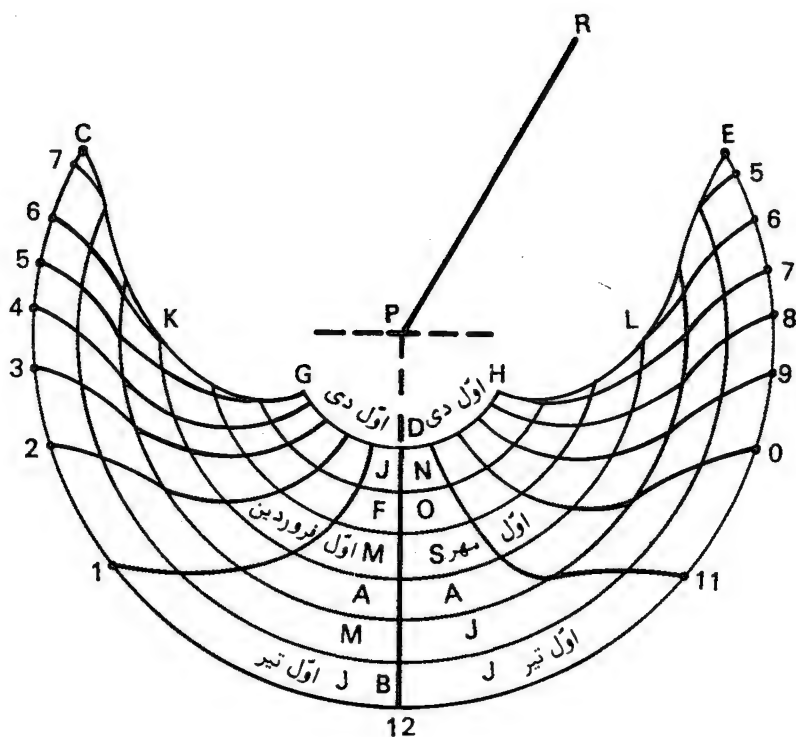
4. Sign of Cancer

5. Summer Solstice

6. Winter Solstice

7. Vernal Equinox

8. Autumnal Equinox



شکل (۳-۶) - چگونگی درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی از نوع سمتی افقی برای عرض جغرافیایی ۳۵° و ۴۱°.

۶. سپس با استفاده از فرمولهای (۲-۱) و (۲-۲)، که در فصل دوم داده شده، سمت خورشید برای ساعتهای صبح و یا بعدازظهر، روز اول تیرماه، محاسبه شده است. آنگاه زوایای سمت بدست آمده، با استفاده از یک تقاله و به مرکز P، بر ضلع PB، بعنوان یک ضلع زاویه، رسم گشته است. اضلاع دوم زوایای رسم شده، کمان CBE را در نقاط نشان داده شده قطع می کنند. این نقاط، نشان دهنده ساعات صبح و بعدازظهر در روز اول تیرماه است. با فرض ثابت بودن میل خورشید در طول روز، نقاط مربوط به ساعات صبح و بعدازظهر، نسبت به خط PB دارای تقارن است. به همین علت محاسبه سمت خورشید فقط برای ساعات صبح و یا بعدازظهر صورت می گیرد.

به همین طریق که برای روز اول تیرماه بیان شد، سمت خورشید برای دیگر تاریخهای دخول خورشید در سایر برجهای باقیمانده محاسبه، و زوایای محاسبه شده بر روی ضلع PB و به مرکز P، توسط نقاله، رسم شده‌اند.

بدین ترتیب نقاط مربوط به ساعات صبح و بعدازظهر، بر روی هفت کمان، رسم شده، — که نمایانگر بروج دوازده گانه هستند — مشخص شده‌اند. ممکن است کمانهای بیشتری در بین این کمانها، برای تاریخ‌های معین، رسم شوند که ساعات روز، بر روی آنها مشخص گردند.

در مرحله بعد نقاط مربوط به ساعات شبانه روز بر روی کمانهای متحدالمرکز، توسط یک منحنی صاف، مطابق شکل، به همدیگر وصل شده‌اند. خطوط منحنی بدست آمده، خطوط درجه بندی صفحه این نوع ساعت خورشیدی است.

۷. در آخرین مرحله، میله‌ای باریک، بعنوان شاخص، بصورت قائم بر نقطه P نصب می‌گردد.

طول میله شاخص، بستگی باندازه صفحه ساعت دارد. طول مناسب آن برابر فاصله نقطه P تا کمان مربوط به اعتدال بهاره و پاییزه (کمان KL) انتخاب می‌گردد. در اینصورت سایه شاخص، تقریباً بین ساعت ۹ صبح و ۳ بعدازظهر به کمان بیرونی نخواهد رسید. این تقیصه در صورتی برطرف می‌شود که طول شاخص به نسبت ارتفاع خورشید در ساعت ۱۲ ظهر و یا یک بعدازظهر روز اول تیرماه انتخاب گردد. اما در چنین حالتی، طول میله شاخص، نسبت به اندازه‌های صفحه ساعت بسیار بلند بنظر خواهد آمد. لذا با انتخاب شاخص کوتاهتر، سایه آن تا کمانهایی که سایه به آنها نمی‌رسد، نظراً امتداد داده می‌شود.

در موقع استفاده از ساعت، صفحه ساعت طوری بصورت افقی قرار داده می‌شود که میله شاخص در طرف جنوب و خط ساعت ۱۲ صفحه ساعت در امتداد خط نصف النهار محل باشد. در اینحالت محل برخورد سایه شاخص با کمان مربوط بتاریخ روز، وقت را مشخص خواهد کرد. در بسیاری از صفحات این نوع ساعت، فواصل بین کمانهای مربوط بتاریخ، به سه قسمت برابر تقسیم می‌شوند. در چنین صورتی مشخص کردن تاریخ، بر صفحه ساعت، آسانتر خواهد بود. معمولاً کمانهای بدست آمده، بوسیله خطوط خط چین مشخص می‌شوند. حتی ممکن است برای مشخص کردن خطوط اصلی و فرعی، از دو رنگ مختلف استفاده کرد.

۳. تعیین نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی با مرکز متغیر^۱

در ساعت خورشیدی با مرکز متغیر، چنانکه از اسم آن پیداست، از شاخصی که محل آن را با توجه به تاریخ روز می بایست تغییر داد، استفاده می شود. اساس کار این نوع ساعت خورشیدی بر سمت خورشید استوار است.

دو گونه ساعت خورشیدی از این نوع وجود دارد: یکی ساعت خورشیدی آنالمتیک^۲ و دیگری ساعت خورشیدی لامبرت^۳ که از نام سازنده اش^۴ که آن را در سال ۱۷۷۷ ساخته، گرفته شده است. در ادامه مطلب چگونگی تعیین نقاط درجه بندی این ساعتها خواهد آمد.

۳-۱. تعیین نقاط درجه بندی ساعت خورشیدی آنالمتیک

نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی آنالمتیک به دو صورت ترسیمی و محاسباتی بدست می آیند:

۳-۱-۱. روش ترسیمی

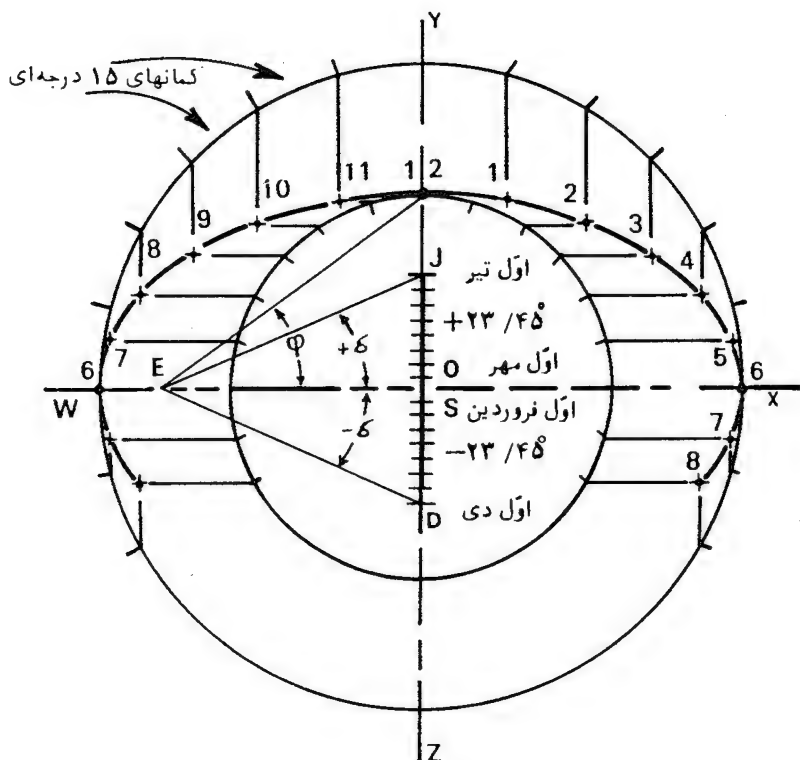
در شکل (۷-۳)، نقاط مربوط به ساعتهای مختلف روز بر روی صفحه ساعت خورشیدی آنالمتیک برای عرض جغرافیایی 35° و 41° نشان داده شده است. این نقاط، در طی مراحل زیر بدست آمده است:

۱. محور افقی WX رسم شده و محور YZ در نقطه O عمود بر آن کشیده شده است. YZ نمایانگر خط ساعت ۱۲ صفحه النهار، و WX نمایانگر خط ساعت ۶ است.

۲. از نقطه ای مانند E بر روی WX، خطی مستقیم چنان رسم شده که با WX زاویه ای برابر عرض جغرافیایی محل ($35^{\circ}/68^{\circ}$) بسازد. این خط YZ را در نقطه مربوط به ساعت ۱۲ ظهر خورشیدی قطع کرده است.

۳. دو دایره، یکی به مرکز O و شعاع ۱۲-0، و دیگری به مرکز O و شعاع ۱۲-E رسم شده است.

۴. مطابق آنچه که در شکل نشان داده شده، دو نیمدایره بالایی دو دایره،



شکل (۳-۷) - تعیین نقاط درجه بندی صفت ساعت خورشیدی آنالیتیک با طبقه ترسیم، برای عرض جغرافیایی $\varphi = 35^{\circ}41'$.

به کمانهای ۱۵ درجه، تقسیم شده‌اند.

۵. از نقاط بدست آمده بر روی دایره بیرونی، خطوطی به موازات محور YZ رسم شده و همچنین از نقاط بدست آمده، بر روی دایره درونی، خطوطی به موازات محور WX کشیده شده است که محل برخورد دو دسته خطوط موازی رسم شده نقاط درجه بندی صفحه ساعت است. اگر این نقاط توسط منحنی صافی بهم وصل شوند، تشکیل یک بیضی را می دهند. ساعات روز مطابق آنچه که در شکل، نمایانده شده است، در مقابل نقاط بدست آمده ثبت شده است.

۶. با کمک یک نقاله و به مرکز E زوایایی برابر میل خورشید در روزهای

مختلف، بر روی خط WX — بعنوان یک ضلع زوایا — رسم شده است. اضلاع دوم زوایا، محور YZ را در نقاط نشان داده شده، قطع کرده‌اند. این نقاط، محل استقرار شاخص در روزهای مختلف را مشخص می‌کنند. چنانکه در شکل، نمایانده شده، مقادیر مثبت میل خورشید بین نقاط O و 12 و مقادیر منفی آن بین O و Z تعیین شده است. نقطه J نمایانگر نقطه انقلاب تابستانی و نقطه D، نقطه انقلاب زمستانی است. نقاط M و S که بر نقطه O منطبق‌اند نمایانگر نقاط اعتدال بهاره و پاییزه هستند.

۷. در مرحله آخر با انتخاب شاخص، ساعت خورشیدی آنالمتیک تکمیل خواهد شد. شاخص این ساعت، از میله‌ای نازک انتخاب می‌گردد. این میله باید طوری باشد که بتوان آن را در نقاط مشخص شده فوق بحالت قائم مستقر ساخت. کافی است که در محل آن نقاط، سوراخهایی بصورت قائم تعبیه کرد که با در نظر گرفتن تاریخ روز مورد نظر، شاخص را بصورت قائم در سوراخ مربوط قرار داد. همچنین می‌توان در طراحی بهتر آن، شاخص را بر روی محور YZ بصورت کشویی (مانند یک خط‌کش محاسبه) مطابق تاریخ روز تغییر مکان داد.

طرز استقرار صفحه این ساعت، بهنگام استفاده، بدین صورت است که صفحه آن را بصورت افقی طوری قرار می‌دهیم که خط 12-O در امتداد خط نصف‌النهار محل بوده و نقطه 12 بطرف شمال جغرافیایی باشد. سپس شاخص در محل مربوط به تاریخ روز، بر روی خطوط OJ و یا OD قرار داده می‌شود. محل تقاطع امتداد سایه، بر بیضی رسم شده، وقت را نشان خواهد داد. باید توجه داشت که وقف فقط بر روی بیضی نشان داده می‌شود.

۲-۱-۳. روش محاسبه

محل دقیق نقاط درجه‌بندی صفحه ساعت خورشیدی آنالمتیک را می‌توان از راه محاسبه، با توجه به شکل (۸-۳) بدست آورد. پارامترهای نشان داده شده در این شکل بقرار زیر است:

$$n = \text{نصف قطر اطول بیضی}$$

$$m = \text{نصف قطر اقصر بیضی}$$

$$a = \text{فاصله خارج از مرکز بیضی}$$

$$R+ \text{ و } R- = \text{فاصله محل استقرار شاخص از نقطه } O.$$

$$u = n \sinh \quad (3-7)$$

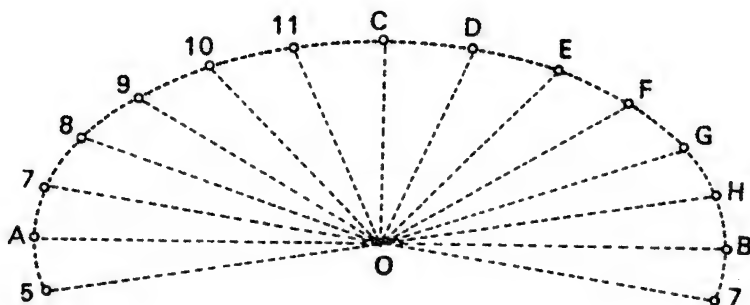
$$t = a \tan \varphi \cosh \quad (3-8)$$

و با توجه به رابطه (۳-۵):

$$t = m \cosh \quad (3-9)$$

بنابراین با معلوم بودن پارامترهای t و u ، محل دقیق نقاط درجه بندی صفحه ساعت، محاسبه می گردد.

علاوه بر این روش، که از راه محاسبه پارامترهای t و u صورت می گیرد، می توان نقاط درجه بندی صفحه ساعت را با محاسبه زوایای مرکزی ایجاد شده در نقطه O ، که از اتصال نقاط درجه بندی بر روی بیضی، به این نقطه ایجاد می گردند، تعیین کرد. برای این کار، ابتدا یک بیضی با ابعاد دلخواه با یکی از روشهایی که در بخش بعدی خواهد آمد، رسم می کنیم. سپس محل نقاط درجه بندی را با محاسبه زوایای مرکزی بدست می آوریم. مراحل کار با توجه به شکل (۳-۹)، به شرح زیر است:



شکل (۳-۹) - تعیین نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی آنالوماتیک با محاسبه زوایای مرکزی برای عرض جغرافیایی 35° و 41° .

۱. در یک بیضی با قطر اطول $2n$ و قطر اقصر $2m$ خواهیم داشت:

$$m = n \sin \varphi \quad (3-10)$$

چون در مثال، $35^\circ / 68 = \varphi$ پس:

$$m = 0.583n$$

بنابراین در شکل (۳-۹) طول OC برابر OB 0.583 است.

۲. مقادیر زوایای مرکزی (ω) از فرمول زیر محاسبه می شوند:

$$\tan \omega = \frac{\tanh}{\sin \varphi} \quad (۳-۱۱)$$

مقادیر محاسبه شده برای مثال مورد نظر در جدول شماره (۳-۲) داده شده است.

۳. سپس از نقطه تقاطع دو قطر بیضی در نقطه O، زوایای محاسبه شده را با کمک یک تقاله بصورتی جدا می‌کنیم که همه زوایا، در ضلع CO مشترک باشند. اضلاع دوم این زوایا، بیضی را در نقاط درجه‌بندی صفحه ساعت، قطع خواهند کرد.

بدین ترتیب که زاویه $\angle COD = ۲۴^\circ/۷$ و نقطه D مربوط به ساعت یک بعدازظهر؛ و زاویه $\angle COE = ۴۴^\circ/۷$ و نقطه E مربوط به ساعت دو بعدازظهر و الی آخر خواهد بود. زوایای جدا شده در طرف دیگر خط CO مربوط به نقاط درجه‌بندی ساعات قبل از ظهر است. البته بر صفحه ساعت، نیازی به نشان دادن خطوط OD، OE و غیره نیست و در این شکل فقط برای روشنتر شدن موضوع، آمده‌اند. عبارت دیگر برخلاف درجه‌بندی صفحه ساعت خورشیدی افقی، در صفحه ساعت خورشیدی آنالمتیک خطوط درجه‌بندی وجود نداشته و فقط نقاط درجه‌بندی بر روی محیط بیضی، مشخص می‌شوند.

جدول (۳-۲) — زوایای مرکزی نقاط درجه‌بندی صفحه ساعت خورشیدی آنالمتیک برای عرض جغرافیایی ۳۵° و ۴۱°

ساعت خورشیدی حقیقی		زاویه ساعتی خورشید بر حسب درجه		ω بر حسب درجه
قبل از ظهر	بعد از ظهر			
۱۱	۱ یا	۱۵°		۲۴°/۷
۱۰	»	۳۰°		۴۴°/۷
۹	»	۴۵°		۵۹°/۷
۸	»	۶۰°		۷۱°/۴
۷	»	۷۵°		۸۱°/۱
۶	»	۹۰°		۹۰°/-

برای محاسبه محل استقرار شاخص، یعنی پارامترهای (R+) و (R-)، از

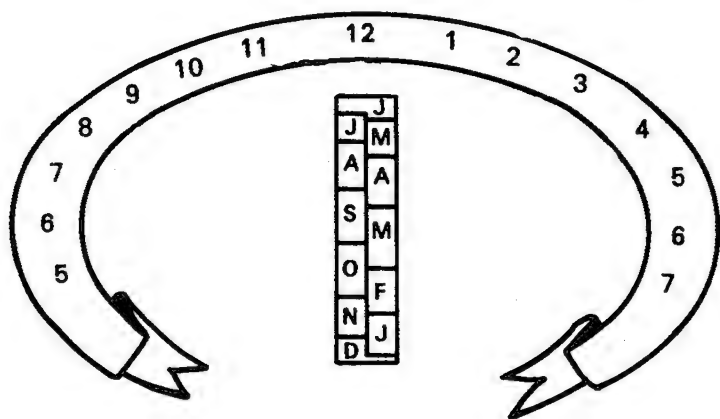
فرمول زیر استفاده می شود:

$$R_{\pm} = a \tan \delta \quad (3-12)$$

که مقادیر میل خورشید را می توان از جدول (۱-۶) برای روزهای مختلف سال بدست آورد. صفحه ساعت خورشیدی آنالمتیک در فرم نهایی آن، بصورت شکل (۱۰-۳) می باشد.

۳-۱-۳. طریقه رسم بیضی

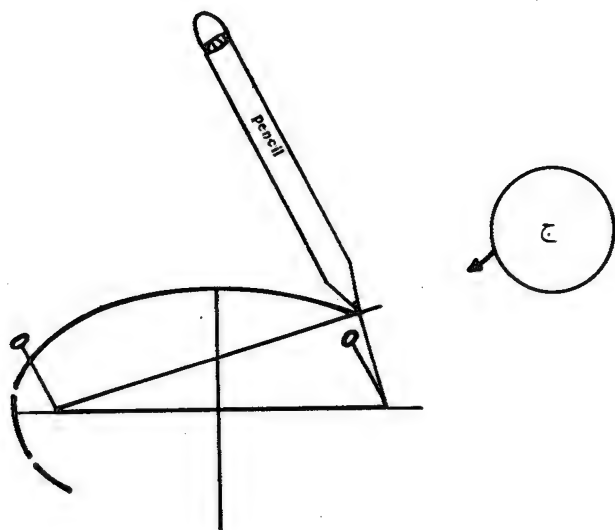
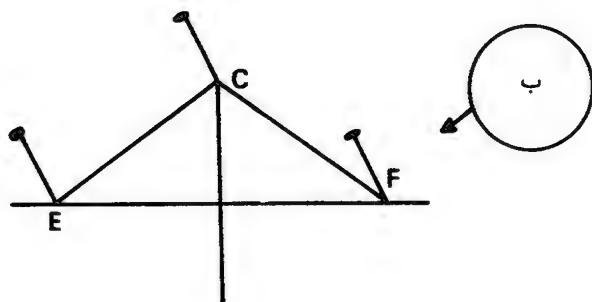
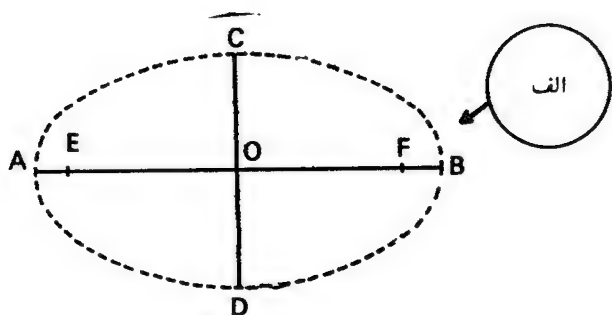
در بخش قبلی دیدیم که برای بدست آوردن نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی آنالمتیک، به ترسیم بیضی، نیاز می باشد. بیضی را می توان با یکی از طرق زیر، رسم کرد:



شکل (۱۰-۳) - صفحه ساعت خورشیدی آنالمتیک در فرم نهایی آن.

۱. می توان آن را مطابق شکل (۱۱-۳) به شرح زیر رسم کرد: در این شکل، در قسمت (الف)، AB و CD دو قطر بیضی هستند که همدیگر را در نقطه O قطع کرده اند. به مرکز C و شعاع OA (نصف قطر طول بیضی) کمانی رسم می کنیم تا قطر AB را در دو نقطه E و F قطع کند. نقاط E و F کانونهای بیضی می باشند.

سپس مطابق شکل، در قسمت (ب)، سه عدد سنجاق، بصورت قائم در نقاط E و F فرو می نماییم. آنگاه یک حلقه نخ، به حالت کشیده، از دور سه سنجاق عبور می دهیم. در مرحله بعد، سنجاق مستقر در نقطه C را برداشته و مطابق شکل، در قسمت

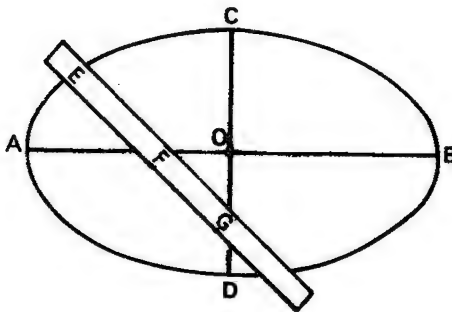


شکل (۳-۱۱) - رسم بیضی با استفاده از حلقه نخ و سنجاق.

(ج)، یک مداد از حلقه نخ عبور می‌دهیم؛ آنگاه مداد را طوری بر روی صفحه کاغذ

دوران می‌دهیم، که حلقه نخ همیشه بصورت کشیده، باقی بماند. در اینصورت نوک مداد، یک بیضی با قطرهای معلوم (AB و CD) بر صفحه کاغذ خواهد کشید.

۲. بیضی را می‌توان با استفاده از وسیله ترسیم بیضی کشید. این وسیله در فرم ساده آن در شکل (۱۲-۳) نشان داده شده است. در این شکل AB و CD، دو قطر بیضی هستند که همدیگر را در نقطه O قطع کرده‌اند. برای رسم بیضی، از یک خط کش و یا یک نوار مقوایی صاف، می‌توان استفاده کرد. نقاط E، F و G طوری بر لبه خط کش مشخص شده‌اند که طول EG برابر نصف قطر اطول (OA) و طول EF برابر نصف قطر اقصر (OD) است. آنگاه خط کش را طوری بر روی صفحه کاغذ می‌چرخانیم که نقطه F همیشه بر روی قطر اطول و نقطه G بر روی قطر اقصر، قرار داشته باشد. در اینصورت نقطه E مسیر بیضی را خواهد پیمود.



شکل (۱۲-۳) - رسم بیضی با استفاده از وسیله رسم بیضی.

۲-۳. تعیین نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی لامبرت^۲

درجه بندی صفحه این ساعت نیز به دو روش ترسیمی و محاسباتی ممکن است:

۱-۲-۳. روش ترسیمی

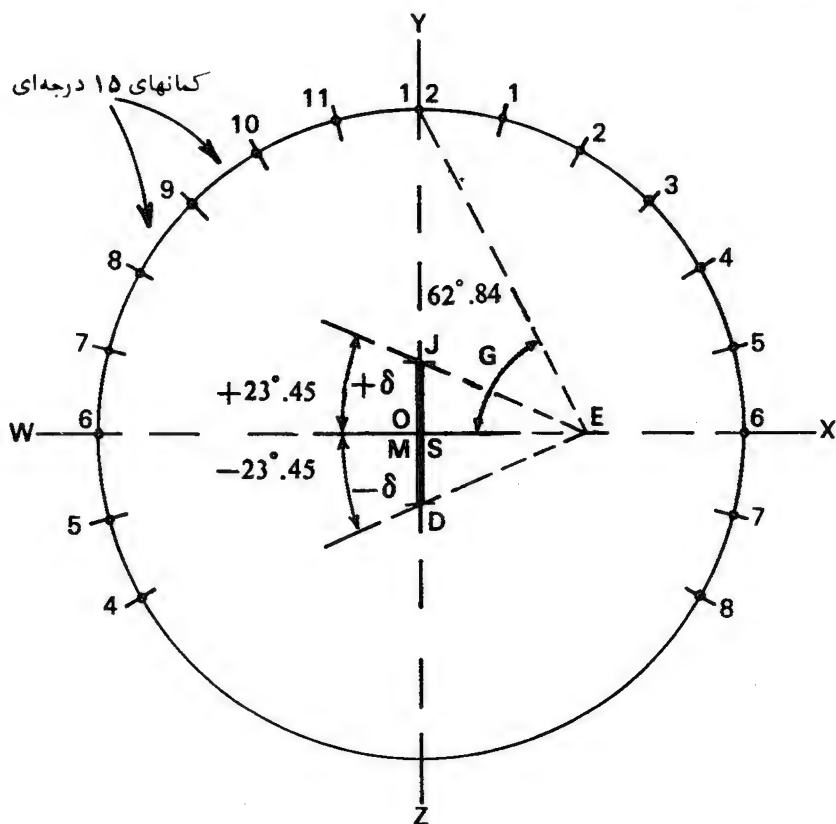
در شکل (۱۳-۳)، صفحه مدرج شده ساعت خورشیدی لامبرت برای عرض جغرافیایی ۳۵° و ۴۱° داده شده و این شکل در طی مراحل زیر بدست آمده است:

۱. دو خط WX و YZ عمود بر هم رسم شده‌اند. محل تقاطع آنها نقطه O است.
۲. از نقطه مناسبی مانند E بر روی WX، خطی مستقیم چنان رسم شده که با WX

زاویه ای برابر G ساخته و خط YZ را در نقطه (12) قطع کرده است. زاویه G که در مورد مثال انتخاب شده، برابر $۸۴/۶۲$ است، از فرمول زیر بدست می آید:

$$G = \frac{\varphi + 90^\circ}{\gamma} \quad (3-13)$$

۳. به مرکز ۵ و شعاع (۵-۱۲) دایره‌ای رسم گردیده و سپس این دایره، به کمانهای ۱۵ درجه‌ای تقسیم شده است. نقاط بدست آمده، نقاط درجه‌بندی صفحه ساعت است.

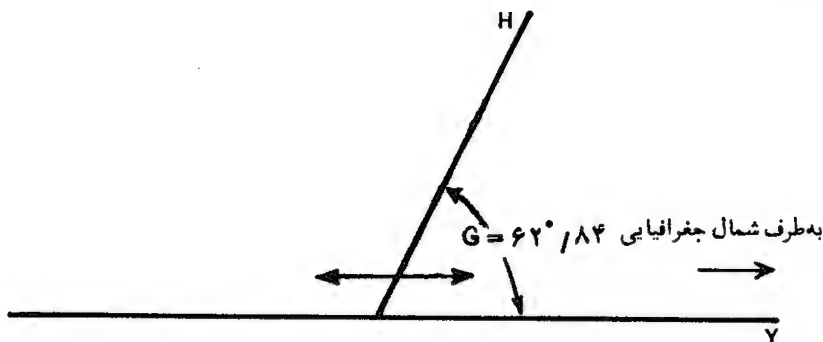


شکل (۱۳-۳) - تعیین نقاط درجه بندی صفعه ساعت خورشیدی لامبرت با روش ترسیمی برای عرض جغرافیایی 35° و 41°

۴. برای مشخص شدن محل نصب شاخص، زوایای میل خورشید، توسط یک

تقاله به مرکز E بر روی ضلع EO جدا شده اند. محل تقاطع اضلاع دوم این زوایا با خط YZ، محل نصب شاخص در روزهای سال را مشخص کرده اند. نقطه J معرف انقلاب تابستانی، نقطه D نمایانگر انقلاب زمستانی و نقاط M و S که بر نقطه O منطبق اند، محل نصب شاخص، در اعتدال بهاره و پاییزه می باشند.

۵. در مرحله آخر با ساخت شاخص، کار ساختن ساعت خورشیدی لامبرت پایان می رسد. شاخص این ساعت (PH) عمودی نبوده بلکه مطابق شکل (۱۴-۳) با خط YZ (خط نصف النهار) زاویه ای برابر $G = 62^\circ / 84$ دارد. بنابراین، بهنگام تغییر محل شاخص در روزهای مختلف، می بایست زاویه آن با خط نصف النهار، همیشه ثابت بماند.



شکل (۱۴-۳) - شاخص ساعت خورشیدی لامبرت.

بهنگام استفاده از ساعت، صفحه آن طوری بصورت افقی قرار می گیرد که خط YZ در امتداد نصف النهار محل قرار داشته و نقطه ساعت (12) بطرف شمال جغرافیایی باشد. پایه شاخص (نقطه P) در محل مربوط بتاریخ روز قرار داده می شود. در نتیجه، محل برخورد سایه شاخص و دایره رسم شده، وقت شمسی حقیقی را نشان خواهد داد.

۲-۲-۳. روش محاسباتی

با توجه به پارامترهای زیر، می توان شعاع دایره و محل استقرار شاخص را محاسبه کرد:

e = فاصله خارج از مرکز

C = شعاع دایره (E-12)

φ = عرض جغرافیایی محل

δ = میل خورشید

R = فاصله شمالی و یا جنوبی محل استقرار روزانه شاخص بر خط YZ از خط WX .

G = زاویه شاخص با خط YZ .

در نتیجه فاصله R از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$R = e \tan \delta \quad (3-14)$$

و اگر شعاع دایره را معلوم فرض کنیم:

$$e = C \tan(90^\circ - G) \quad (3-15)$$

و یا

$$e = C \cot G \quad (3-16)$$

۴. درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی ارتفاعی افقی

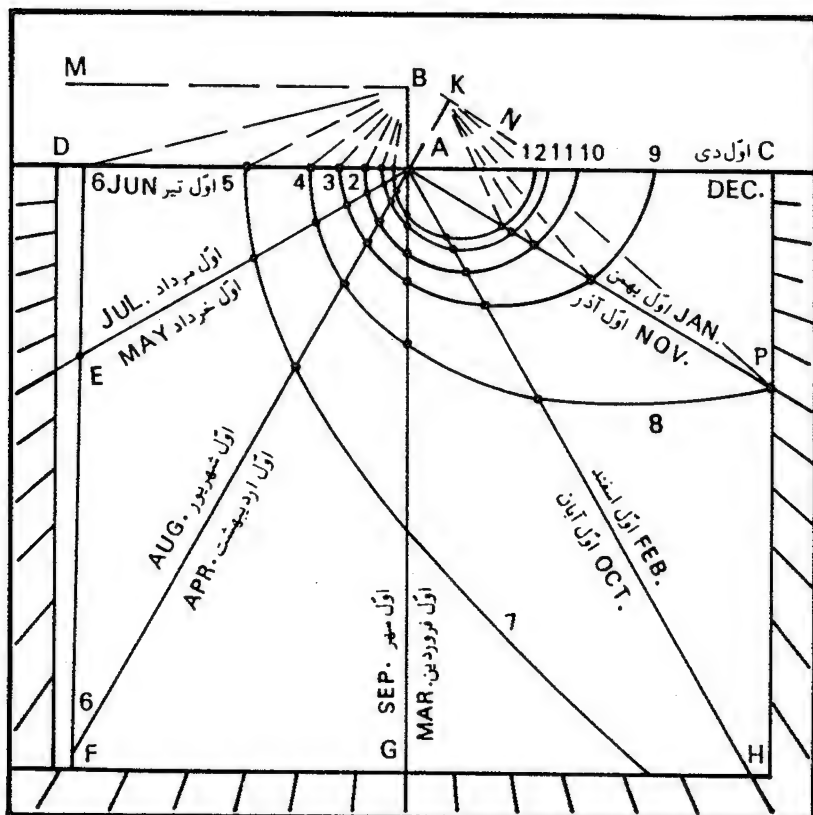
صفحه این نوع ساعت نیز بصورت افقی است و وقت را براساس اندازه گیری ارتفاع خورشید تعیین می کند. نظریه اینکه ارتفاع خورشید در نزدیکیهای غروب و کمی بعد از طلوع آن، خیلی کم است، لذا در این اوقات، نمی توان از این نوع ساعت برای تعیین وقت استفاده کرد. شاخص این ساعت، بصورت میله ای نازک است که بر صفحه ساعت، بصورت قائم نصب می گردد و محل نوک سایه بر صفحه ساعت نمایانگر وقت خواهد بود. درجه بندی صفحه این ساعت نیز به دو شکل ترسیمی و محاسباتی صورت می گیرد:

۴-۱. روش ترسیمی

در شکل (۳-۱۵)، درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی ارتفاعی، برای عرض جغرافیایی 35° و $41'$ آمده است. این شکل، در طی مراحل زیر رسم شده است:

۱. خط افقی DC رسم شده است که نقطه A بر روی آن، محل استقرار شاخص است. ارتفاع شاخص در این مثال $1/55$ سانتیمتر گرفته شده است.
۲. خط AG در نقطه A عمود بر DC ، ترسیم گشته است.

۳. زاویه 180° درجه ای $\angle DAC$ به شش زاویه 30° درجه ای تقسیم گردیده است. بدین ترتیب خطوط AE ، AF ، AH و AP رسم شده اند. این خطوط به همراه خطوط DAC و AC نمایانگر دخول خورشید در برجهای دوازده گانه است. خط AC نمایانگر



شکل (۱۵-۳) - درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی ارتفاعی افقی با روش ترسیمی برای عرض جغرافیایی 35° و 41° .

نقطه انقلاب زمستانی در اول دی ماه (۲۲ ماه دسامبر)، AP مربوط به اوایل ماههای آذر و بهمن (۲۲ نوامبر و ۲۰ ژانویه)، AH مربوط به اوایل ماههای آبان و اسفند (۲۳ اکتبر و ۱۹ فوریه)، AG نمایانگر اعتدال پاییزه و بهاره در اوایل ماههای مهر و فروردین (۲۳ سپتامبر و ۲۱ مارس)، AF مربوط به اوایل ماههای شهریور و اردیبهشت، (۲۳ اوت و ۲۰ آوریل)، AE مربوط به اوایل ماههای مرداد و خرداد (۲۳ ژوئیه و ۲۱ مه) و بالاخره AD نمایانگر انقلاب تابستانی در اول تیر ماه (۲۱ ژوئن) است.

۴. خط AG تا نقطه B بنحوی امتداد داده شده، که طول AB برابر طول انتخاب شده شاخص ($1/55$ سانتیمتر) است.

۵. خط BM به موازات AD رسم شده است. سپس با کمک یک نقاله و به مرکز B، زوایای ارتفاع خورشید، در ساعات مختلف روز اول تیر ماه (۲۱ ژوئن)، جدا شده‌اند. اضلاع دوم این زوایا، خط AD را در نقاط مربوط به ساعات مختلف روز، مطابق شکل، قطع می‌کنند. همین عمل برای خط AC مربوط به انقلاب زمستانی در اول دی ماه (۲۲ دسامبر) تکرار شده است.

ارتفاع خورشید در هر ساعت روز، از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\tan a = \cot(\varphi - N) \cos A \quad (3-17)$$

در این فرمول a نمایانگر ارتفاع خورشید بر حسب درجه و پارامترهای N و A قبل در فرمولهای (۲-۱) و (۲-۲) در فصل دوم داده شده‌اند.

۶. خط AK با طول برابر طول شاخص (۱/۵۵ سانتیمتر) عمود بر خط AP، کشیده شده است. از نقطه K خط KN به موازات AP ادامه داده شده، سپس همانند مرحله پنجم — مذکور در فوق — زوایای ارتفاع خورشید در ساعات مختلف روز تاریخ مربوط، بر روی خط KN جدا شده‌اند. محل برخورد اضلاع دوم زوایا، با خط AP، نمایانگر ساعات مختلف همان روز است. این عمل، برای خطوط AE، AF، AG، AH و AE تکرار گشته و نقاط مربوطه مشخص شده‌اند.

۷. در مرحله بعد، ساعات مشابه، بر روی خطوط AE، AF، AG، AH، AP، AC خطوط AD توسط خطوط منحنی صاف، مطابق شکل، بهم وصل شده‌اند. بدین ترتیب با نوشتن تاریخهای مربوط و ساعات مختلف روز بر صفحه ساعت، درجه بندی آن، تکمیل گشته است.

۸. در مرحله آخر یک میله نازک بعنوان شاخص و با طول معین شده (۱/۵۵ سانتیمتر) در نقطه A، بر صفحه ساعت، بصورت قائم نصب می‌گردد.

برای بکار بردن ساعت، صفحه آن را طوری به طریق افقی قرار می‌دهیم که شاخص آن بطرف آفتاب بوده، سایه شاخص، بر امتداد تاریخ روز بیفتد. در نتیجه، نوک سایه شاخص بر روی صفحه ساعت، وقت شمسی حقیقی روز را مشخص خواهد کرد.

در شکل (۳-۱۵) فقط خطوط مربوط به تاریخ اول هر ماه نشان داده شده‌اند. اما در محیط صفحه درجه بندی شده ساعت، فواصل بین ماههای مختلف، به تقسیمات ۵ درجه‌ای منقسم گشته‌اند که هر ۵ درجه تقریباً معادل ۶ روز است. با توجه به این درجه بندی، می‌توان بسادگی سایه شاخص را در امتداد تاریخ روز قرار داد. البته ممکن است خطوط مربوط به تاریخهای بیشتری را نیز بر روی صفحه ساعت رسم کرد.

۲-۴. روش محاسباتی

با استفاده از روابط مثلثاتی، می توان صفحه این ساعت را از راه محاسبه درجه بندی کرد. در شکل (۱۵-۳)، فواصل نقطه A (پای شاخص) از نقاط مربوط به ساعات مختلف روز، نقاط ۱، ۲، ۳... و ۱۲، ۱۱، ۱۰... را می توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$L = HS \cos a \quad (3-18)$$

که در آن

HS = ارتفاع شاخص

L = فاصله پای شاخص از نقاط مختلف مربوط به ساعات روز

a = ارتفاع خورشید

بدین ترتیب تا بحال درجه بندی صفحه چند نوع ساعت خورشیدی را برای عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه بدست آورده ایم. در ادامه مطلب، چگونگی استفاده از ساعت های خورشیدی، در جهت یابی را مورد بحث قرار می دهیم:

۵. ساخت قطب نمای خورشیدی با استفاده از دو ساعت خورشیدی

قبلا اشاره شد که اساس کار ساعت های خورشیدی بر سه پارامتر ارتفاع، سمت و زاویه ساعتی خورشید استوار است. از ترکیب دو ساعت خورشیدی که هر کدام بر یکی از این سه پارامتر استوارند، می توان قطب نمای خورشیدی ساخت. بدین ترتیب سه نوع ترکیب می تواند وجود داشته باشد. برای این کار دو ساعت انتخاب شده، طوری بر یک صفحه افقی قرار داده می شوند که هر دو ساعت، یک وقت را نشان دهند. در نتیجه، خط مربوط به ساعت دوازده ظهر خورشیدی، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی را مشخص خواهد کرد. مجموعه دو ساعت خورشیدی به نام ساعت خورشیدی ترکیبی موسوم است و بصورت جهت یاب و یا قطب نمای خورشیدی^۱ می توان از آن استفاده کرد. بدین ترتیب مجموعه دو ساعت را علاوه بر تعیین وقت شمسی حقیقی، می توان در جهت یابی نیز بکار گرفت. در ادامه مطلب، چگونگی انتخاب در ترکیب دو ساعت، مورد بررسی قرار می گیرد.

یک جهت یاب خورشیدی که بدین ترتیب ساخته می شود، می بایست قابل حمل باشد و لذا باید از ساعت هایی استفاده کرد که صفحه آنها در ابعاد کوچک هم، خوانا و

واضح باشد. بعلاوه باید از ساعت‌هایی استفاده شود که بتوانند وقت خورشیدی را در تمام طول روز نشان دهند. با توجه به این نکات، ساعت‌های مدرج شده قبلی را مورد بررسی قرار می‌دهیم:

ساعت خورشیدی افقی نشان داده شده در شکل‌های (۳-۱) و (۳-۲)، برای این کار مناسب است. صفحهٔ این ساعت، به آسانی درجه‌بندی شده و در ابعاد کوچک هم خوانا و واضح است. اما فواصل درجه‌بندی، برای فواصل یکساعت در طول روز، بشکل خطی نیستند. البته بعلت سادگی روش درجه‌بندی، می‌توان درجه‌بندی برای اجزاء ساعت را نیز بر صفحهٔ آن مشخص کرد.

ساعت خورشیدی سمتی افقی، نشان داده شده در شکل (۳-۶)، ممکن است انتخاب مناسبی نباشد.

چنانکه قبلاً توضیح داده شد، اساس درجه‌بندی صفحهٔ این ساعت خورشیدی بر مبنای دخول خورشید در برج‌های دوازده‌گانه استوار است. تاریخ تقریبی ورود خورشید در هر برج، بصورت زیر است:

فصل	نام برج	تاریخ تقریبی ورود خورشید در برج
بهار	حمل ^۱ (بره)	حدود اوّل فروردین (۲۱ مارس)
	ثور ^۲ (گاو)	» » اردیبهشت (۲۰ آوریل)
	جوزا ^۳ (دوپیکر)	» » خرداد (۲۱ مه)
تابستان	سرطان ^۴ (خرچنگ)	» » تیر (۲۱ ژوئن)
	اسد ^۵ (شیر)	» » مرداد (۲۳ ژوئیه)
	سنبله ^۶ (خوشه)	» » شهریور (۲۳ اوت)
پاییز	میزان ^۷ (ترازو)	» » مهر (۲۳ سپتامبر)
	عقرب ^۸ (کژدم)	» » آبان (۲۳ اکتبر)
	قوس ^۹ (کمان)	» » آذر (۲۲ نوامبر)

- | | | | |
|-------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| 1. Ram (Aries) | 2. Bull (Taurus) | 3. Twins (Gemini) | 4. Crab (Cancer) |
| 5. Lion (Leo) | 6. Virgin (Vigro) | 7. Balance (Libra) | 8. Scorpion (Scorpio) |
| 9. Archer (Sagittarius) | | | |

جَدی ^۱ (بز)	»	»	دی (۲۲ دسامبر)
دلو ^۲ (دول)	»	»	بهمن (۲۰ ژانویه)
حوت ^۳ (ماهی)	»	»	اسفند (۱۹ فوریه)

چنانکه در مراحل درجه بندی صفحه این ساعت شرح داده شد، دیدیم که برای بدست آوردن تاریخ ورود خورشید در برجهای دوازده گانه، خط DB به شش قسمت برابر تقسیم شد. این بدان معنی است که فواصل زمانی ورود خورشید در برجهای دوازده گانه برابر است. اما با توجه به تاریخهای داده شده در فوق، دیده می شود که این فواصل زمانی کاملاً برابر نیستند.

باید توجه داشت که ساخت ساعتهای خورشیدی به زمانهای گذشته تعلق داشته و خیلی پیش از رواج ساعتهای مکانیکی مورد استفاده بوده است. در آن روزگار، مردم برای دخول خورشید در برجهای دوازده گانه اهمیت زیادی قائل بودند. بهمین جهت هفت خط موجود بر صفحه بیشتر ساعتهای خورشیدی، نمایانگر دخول خورشید در برجهای منطقه البروج است. تاریخ ورود خورشید در هر برج، از روی طول خورشید بر حسب درجه، بر روی دایره البروج نسبت به نقطه اعتدال بهاری بطرف مشرق تعیین می گردد و در اینجا دایره استوای سماوی، مبنای کار نیست. خورشید تقریباً بعد از هر ۳۰ روز وارد برج جدیدی می شود. با فرض برابری فواصل زمانی دخول خورشید در برجهای مختلف، هفت خط مذکور موازی هم بوده و دارای فواصل مساوی از یکدیگرند. چنانکه ترتیب جدول قبلی را عوض کرده و میل خورشید را نیز در آن وارد کنیم، خواهیم داشت:

نام برج	تاریخ ورود خورشید به برج	میل خورشید متوسط میل خورشید	میل خورشید تاریخ ورود خورشید به برج	نام برج
قوس	۲۲ نوامبر	۱۹° ۵۹' - ۸° - ۲۳° ۲۷' -	۲۲ دسامبر	جدی
عقرب	۲۳ اکتبر	۱۱° ۹' - ۱۱° ۲۰' - ۲۰° ۱۶' -	۲۰ ژانویه	دلو
میزان	۲۳ سپتامبر	۰° ۰' - ۰° ۰' - ۰° ۰' -	۱۹ فوریه	حوت
سنبله	۲۳ اوت	۱۱° ۴۱' + ۱۱° ۲۹' + ۱۱° ۱۷' +	۲۱ مارس	حمل
اسد	۲۳ ژوئیه	۲۰° ۱۳' + ۲۰° ۸' + ۲۰° ۲' +	۲۰ آوریل	ثور
سرطان	۲۱ ژوئن	۲۳° ۲۷' +	۲۱ مه	جوزا

با توجه به این جدول، دیده می‌شود که جز در مورد برجهای جدی و سرطان، میل خورشید، بهنگام دخول خورشید در هر دو برج، تقریباً برابر است. مثلاً میل خورشید در برجهای دلو در بهمن ماه (ژانویه) و قوس در آذرماه (نوامبر) تقریباً برابرند. بعلاوه ترتیب جدول، تقارن موجود بین برجهای واقع در طرفین، انقلاب تابستانی و زمستانی را نشان می‌دهد.

تفاوت زمانی بین برجهای مختلف، در حدود یک روز می‌تواند باشد. مثلاً فاصله زمانی از اوّل آذرماه (۲۲ نوامبر) تا اوّل دی ماه (۲۲ دسامبر) در حدود سی روز است. اما از ۲۲ دسامبر تا ۲۰ ژانویه ۲۹ روز است. از این تفاوت یک روزه صرف‌نظر شده و فقط یک خط برای دو تاریخ و یا برجهای مربوط در نظر گرفته شده است. همچنین در این جدول دیده می‌شود که مقادیر متوسط میل، در دو طرف اعتدالین تا حد زیادی قرینه‌اند. زیرا چنانکه سروکار ما با ساعتهای جیبی کوچکی باشد، می‌توان مقادیر میل خورشید را با تقریب اضافی و یا نقصانی ۳۰ دقیقه‌ای در نظر گرفت.

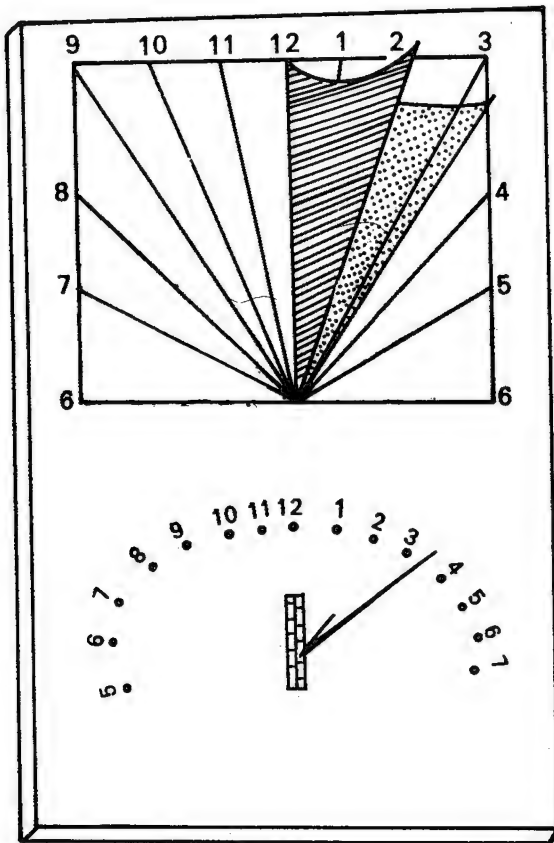
برعکس، اگر تاریخهای دقیق، مورد محاسبه قرار گیرند، خطوط بیشتری بر صفحه ساعت ترسیم شده و در نتیجه، به صفحه بزرگتری برای نشان دادن درجه‌بندی ساعت، نیاز خواهد بود.

ساعت خورشیدی ارتفاعی افقی، نشان داده شده در شکل (۱۵-۳)، نیز انتخاب مناسبی نیست. بحث قبلی در مورد فرض فواصل زمانی مساوی در بین برجهای مختلف، در این مورد هم صادق است. بعلاوه این ساعت را نمی‌توان در نزدیکیهای زمان طلوع و غروب خورشید بکار برد. با وجود این، مسلمین از این نوع ساعت، در جهت‌یابی، در قرن چهاردهم، استفاده کرده‌اند. بدین ترتیب که با بکار بردن ساعت خورشیدی ارتفاعی افقی، وقت روز را تعیین کرده، سپس با بکار بردن یک ساعت جهتی، سمت شمال جغرافیایی را معین می‌کردند. یعنی ساعت جهتی را بر یک صفحه افقی طوری قرار می‌دادند که همان وقت ساعت ارتفاعی را نشان دهد. مجموعه دو ساعت، تشکیل یک جهت‌یاب خورشیدی را می‌دهد که می‌تواند در قبله‌یابی بکار گرفته شود. چنانکه می‌دانیم، بعدها عقربه مغناطیسی بکار گرفته شد که معایب آن، پیش از این بیان شده است.

تنها ساعت خورشیدی باقی‌مانده، ساعت خورشیدی، با مرکز متغیر است. هر دو نوع آن یعنی ساعت خورشیدی آنالمتیک و ساعت خورشیدی لامبرت مناسب هستند. درجه‌بندی صفحه ساعت خورشیدی لامبرت، بصورت خطی یعنی با فواصل مساوی

است که در نتیجه، خواندن کسر ساعت بر روی آن ساده تر است. تنها عیب این ساعتها، شاخص آنهاست که محل آن می بایست مطابق تاریخ روز، تغییر داده شود. این مشکل در صورتیکه شاخص بتواند بصورت کشویی حرکت کند، قابل حل است.

با توجه به آنچه که گفته شد، بهترین ساعت خورشیدی ترکیبی، از مجموعه یک ساعت خورشیدی افقی و یک ساعت خورشیدی با مرکز متغیر، بدست می آید. این نوع ساعت خورشیدی ترکیبی، در شکل (۱۶-۳) نشان داده شده است. تنها عیب این ابزار در اینست که فقط در محوطه ای با عرض جغرافیایی مشخص، که برای آن طراحی شده است، قابل استفاده است. دقت این وسیله، بستگی به دقت بکار رفته در ساخت آن دارد.



شکل (۱۶-۳) — طرز قرار گرفتن ساعت های خورشیدی افقی و آنالما تیک بر یک صفحه افقی.
صفحه افقی طوری قرار داده می شود که هر دو ساعت خورشیدی، یک وقت را نشان دهند.

۶. بکار بردن یک ساعت خورشیدی، بعنوان جهت یاب خورشیدی

می توان یک ساعت خورشیدی، از نوع جهتی را که بدقت ساخته شده باشد، در جهت یابی بکار گرفت. البته این کار نیازمند انجام دادن مقدار کمی محاسبه و در دسترس داشتن ساعتی دقیق است.

در آغاز قرن هیجدهم، ساعتهای مکانیکی، بیشتر مورد توجه قرار گرفتند، اما با وجودی که ممکن است عجیب بنظر برسد، رواج ساعتهای مکانیکی موجب عقب ماندگی ساعتهای خورشیدی نشد، بلکه سبب پیشرفت آنها گردید. بیشتر ساعتهای مکانیکی این دوره زیاد دقیق نبودند، لذا ساعتهای خورشیدی برای کنترل و میزان کردن آنها بکار می رفتند.

سیستم دقیق زمان سنجی امروزه را می توان در کاربرد ساعت خورشیدی بعنوان جهت یاب، بکار گرفت. می دانیم که ساعتهای معمولی وقت شمسی متوسط را برای نصف النهار استاندارد منطقه مورد نظر تعیین می کنند. اما ساعتهای خورشیدی، وقت شمسی حقیقی را برای نصف النهار محلی که ساعت خورشیدی برای آن طراحی شده و در آنجا بکار برده می شود، معلوم می کنند. با بکار بردن پارامتر تعدیل زمان و تصحیح مربوط به اختلاف طول جغرافیایی، به طریقی که قبلاً بیان شد، می توان با استفاده از رابطه های (۱-۳) و (۱-۴)، وقت شمسی متوسط را به وقت شمسی حقیقی تبدیل کرد. لذا با درست داشتن یک ساعت میزان شده، می توان وقتی را که آن ساعت نشان می دهد، به وقت شمسی حقیقی تبدیل کرد. سپس ساعت خورشیدی جهتی را طوری بر یک صفحه افقی قرار می دهیم، که همان وقت شمسی حقیقی محاسبه شده را نشان دهد. در اینصورت خط مربوط به ساعت دوازده ظهر شمسی حقیقی، امتداد نصف النهار محلی را که ساعت خورشیدی برای آن ساخته شده، معین خواهد کرد. دقت این روش بستگی به دقت ساخت ساعت خورشیدی و دقت در قرار دادن آن خواهد داشت. تنها عیب این روش، نیاز به دانستن مختصات جغرافیایی محل است که از قبل می بایست معلوم شده باشد.

۷. بکار بردن کرونومتر خورشیدی بعنوان جهت یاب خورشیدی

زمانی برای میزان کردن ساعتهای مکانیکی از ساعتهای خورشیدی استفاده

می‌شد. اما ممکن است با استفاده از وقت نشان داده شده توسط ساعت‌های متداول؛ کرونومترهای خورشیدی را در جهت یابی بکار گرفت. بدینصورت که کرونومتر خورشیدی به صورتی قرار داده می‌شود که همان وقت ساعت‌های معمولی را نشان دهد. کرونومتر و یا زمان‌سنج خورشیدی، چنانکه از اسم آن پیداست، اوج تکامل ساعت‌های خورشیدی است. ساختمان آنها معمولاً پیچیده است و در نهایت ظرافت ساخته می‌شوند. از سیمی نازک بعنوان شاخص استفاده شده و به منظور نشان دادن تقسیمات کوچکتر وقت، از قبیل دقیقه و حتی ثانیه، از چرخ دنده‌ها استفاده می‌شود. پایه آنها، مجهز به پیچهای تنظیم و تراز است. معمولاً برای ساخت آنها از انواعی از ساعت‌های خورشیدی استفاده می‌شود که درجات مربوط به صفحه ساعت خورشیدی، دارای فواصل مساوی هستند و بیشتر، از نوع ساعت خورشیدی استوایی^۱ و یا ساعت خورشیدی به شکل چند حلقه‌ای^۲ استفاده می‌گردد. گاهی کرونومتر خورشیدی بشکل نیم استوانه^۳ نیز ساخته می‌شود. در کرونومترهای خورشیدی، برای خواندن دقیقتر درجات صفحه ساعت، از ورنیه^۴ نیز استفاده می‌شود. - ورنیه وسیله‌ای است که برای خواندن کسری از کوچکترین درجه یک درجه بندی، بکار برده می‌شود.

بدین ترتیب یک کرونومتر خورشیدی، بسیار دقیق ساخته می‌شود و دقیقترین نوع ساعت خورشیدی است که وقت را با تقریب چند ثانیه تعیین می‌کند. یک کرونومتر خورشیدی را می‌توان طوری تنظیم کرد که وقت ساعت‌های مکانیکی و یا وقت رسمی را نشان دهد. نوعی از کرونومترهای خورشیدی برای میزان کردن ساعت‌های مکانیکی ایستگاههای قطار در فرانسه، تا سال ۱۹۰۰ میلادی بکار می‌رفت. اگر امروزه انواعی از اینگونه ساعت‌های خورشیدی ساخته شوند، موجب رواج دوباره آنها خواهد شد و چنانکه در ساختمان کرونومترهای خورشیدی دقت و ظرافت لازم بکار رود، دقت کار آنها موجب حیرت خواهد شد.

کرونومترهای خورشیدی را می‌توان بنحوی ساخت که قابل تنظیم در عرضهای جغرافیایی مختلف باشند. بنابراین از یک کرونومتر خورشیدی، که وقت رسمی را نشان دهد، می‌توان در جهت یابی استفاده کرد. کافی است که کرونومتری خورشیدی را طوری قرار داد که همان وقت ساعت معمولی را نشان دهد. در اینصورت خطوط مربوط به ساعت دوازده ظهر شمسی حقیقی، جهت شمال و جنوب جغرافیایی را مشخص خواهد

1. Equatorial Dial

2. Armillary Dial

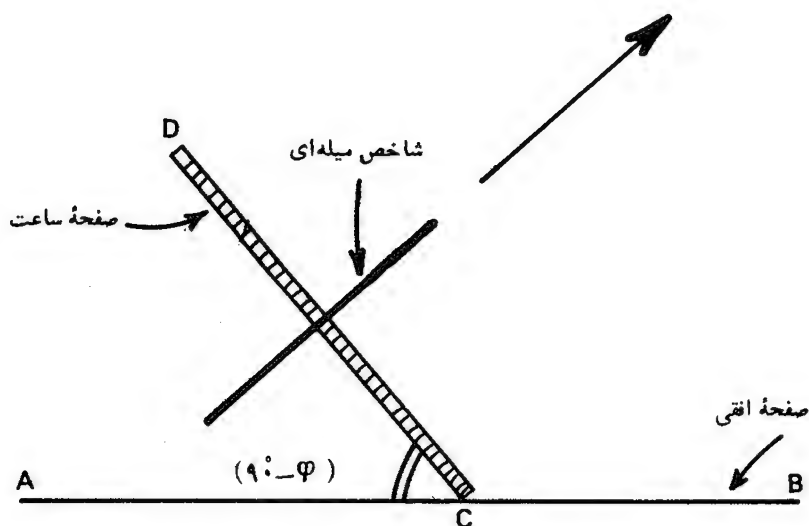
3. Half Cylinder

4. Vernier

کرد. اما در چنین صورتی اطلاع از طول و عرض جغرافیایی محل ضروری است. در بالا اشاره شد که از ساعت خورشیدی نوع استوایی، می توان برای ساختن زمانسنج خورشیدی استفاده کرد. نام استوایی از آنجا ناشی شده است که صفحه این نوع ساعت خورشیدی به موازات صفحه استوای زمین قرار می گیرد. شاخص آن از یک میله که عمود بر صفحه ساعت است، تشکیل شده است و در نتیجه، شاخص به موازات محور زمین و بسوی قطب سماوی قرار می گیرد. درجه بندی صفحه این ساعت، بستگی به عرض جغرافیایی محل ندارد، بنابراین صفحه درجه بندی شده آن در هر عرض جغرافیایی قابل استفاده است.

از آنجایی که خورشید در نیمی از سال (بهار و تابستان) در بالای صفحه استوا و در نیمی دیگر (پاییز و زمستان) در زیر آن قرار دارد، لذا صفحه این ساعت خورشیدی از یک صفحه کم ضخامت تشکیل می شود که خطوط درجه بندی صفحه ساعت بر دو سوی آن رسم می گردد. این ساعت خورشیدی جالب بوده و بسادگی قابل ساختن است. در شکل (۱۷-۳) نیمرخ این ساعت خورشیدی، بهنگام قرار گرفتن، نشان داده شده است. زاویه ACD که صفحه ساعت با صفحه افقی می سازد برابر متمم عرض جغرافیایی محل است $(90^\circ - \varphi)$.

به طرف قطب سماوی



شکل (۱۷-۳) - نیمرخ ساعت خورشیدی استوایی بهنگام قرار گرفتن بر صفحه افقی.

حل چند مثال در مثلثات کروی

چنانکه در فصل پنجم مشاهده خواهد شد، محاسبه جهت قبله، نیازمند اطلاعات مختصری درباره مثلثات کروی^۱ است. لذا در این فصل، مطالبی چند در مورد مثلثات کروی داده شده و با حل چند مسئله مطلب را پی می گیریم. حل این مسائل، فهم فصل پنجم کتاب را آسان می کند.

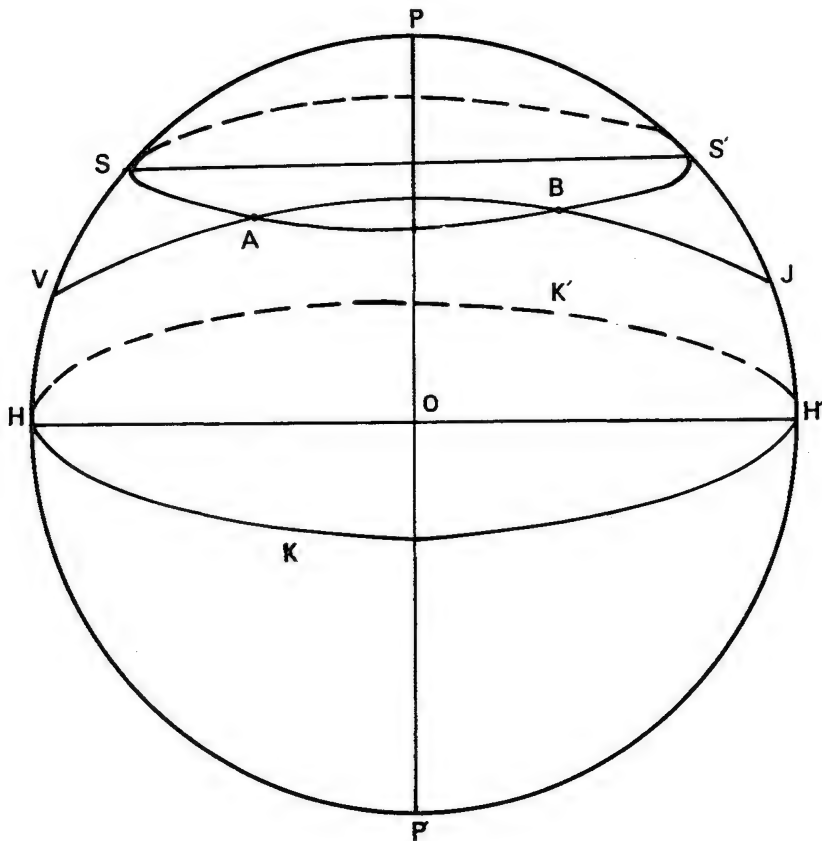
۱. دایره عظیمه^۲

اگر بر روی سطح یک کره، دایره هایی رسم شوند که صفحات آنها از مرکز کره بگذرند، آنها را دوائر عظیمه می نامند. سایر دایره ها که صفحات آنها از مرکز کره نمی گذرند، دوائر صغیره^۳ نامیده می شوند. برای مثال، اگر شکل کره زمین را یک کره کامل فرض کنیم، دایره استوا و دوائر نصف النهار، دایره های عظیمه، هستند. در حالیکه دایره های مدارات، دوائر صغیره اند.

کوتاه ترین فاصله بین دو نقطه بر روی سطح یک کره، قوسی از دایره عظیمه ای است که بر آن دو نقطه، می گذرد. مثلاً اگر دو نقطه، مانند A و B بر روی یک مدار قرار داشته باشند، یعنی دارای عرضهای جغرافیایی برابر باشند، کوتاه ترین فاصله بین آنها، در امتداد دایره صغیره مدار مربوط نبوده بلکه قوسی از دایره عظیمه ای است که از نقاط A و B می گذرد.

در شکل (۴-۲)، با فرض کروی بودن زمین، دایره HKHK، دایره عظیمه ای

است که از مرکز ثقل کره زمین در نقطه O می‌گذرد. نقاط A و B بر روی مدار $SABS$ قرار دارند. کوتاه‌ترین فاصله بین نقاط A و B بر روی قوس $VABJ$ اندازه‌گیری می‌شود که این قوس قسمتی از دایره عظیمه‌ای است که از نقاط A و B می‌گذرد.



شکل (۴-۱) - کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه A و B بر روی یک کره. این فاصله بر روی کمان $VABJ$ اندازه‌گیری می‌شود. این کمان قسمتی از دایره عظیمه‌ای است که از این دو نقطه می‌گذرد.

موضوع کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه، بر روی یک کره، در محاسبه جهت قبله بر روی کره زمین، حایز اهمیت است. بعداً در این فصل، با ذکر چند مثال، مطلب،

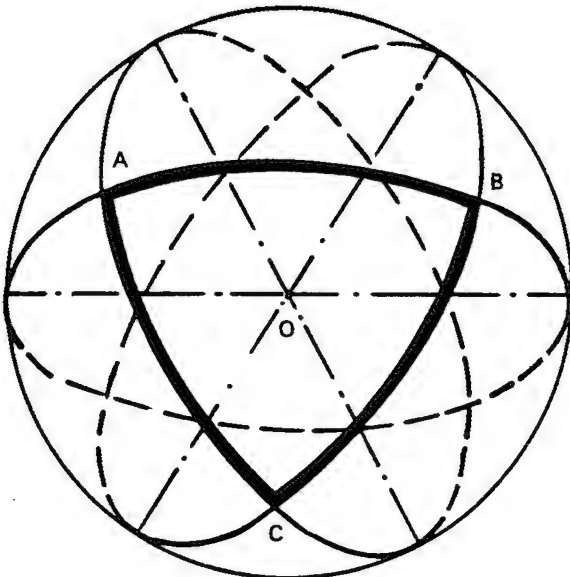
بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. زاویه کروی^۱

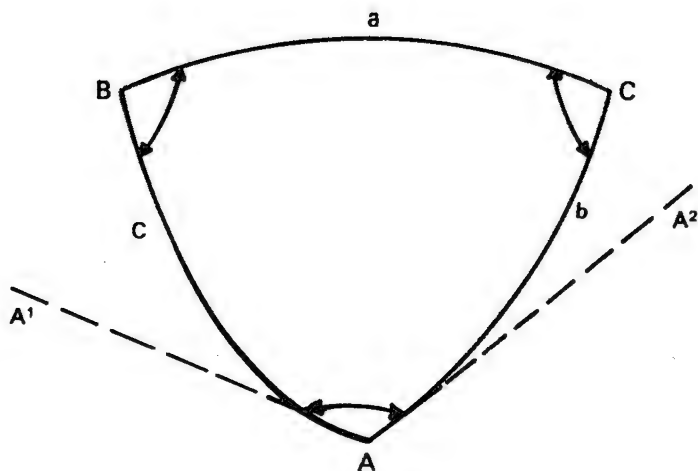
زاویه ای که از تقاطع صفحات دو دایره عظیمه بدست می آید، زاویه کروی، نام دارد. همچنین اگر از نقطه برخورد دو دایره عظیمه بر روی یک کره، دو خط مماس بر دو دایره، بصورتی رسم شوند که هر خط در صفحه دایره عظیمه مربوط قرار داشته باشد، زاویه بین دو خط مماس، اندازه زاویه کروی بین دو دایره عظیمه را مشخص خواهد کرد.

۳. مثلث کروی

یک مثلث کروی^۲ شکلی است که بر روی سطح یک کره از تقاطع سه کمان از سه دایره عظیمه بدست می آید و زوایایی که توسط سه کمان در سه رأس مثلث کروی بوجود می آیند، به نام زوایای مثلث، موسوم اند، شکل (۴-۲). در شکل (۴-۳)،



شکل (۴-۲) — تشکیل یک مثلث کروی بر روی سطح یک کره.



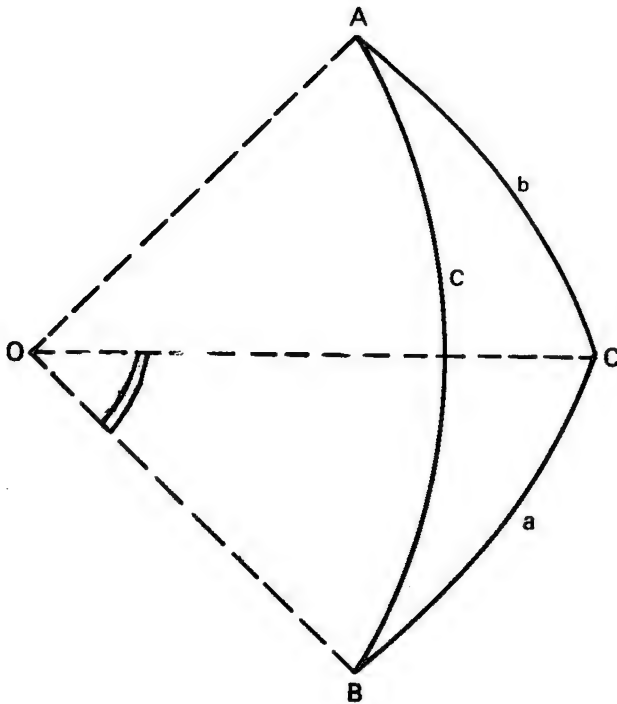
شکل (۴-۳) - اضلاع و زوایای مثلث کروی.

کمانهای \widehat{AB} ، \widehat{BC} و \widehat{CA} قوسهایی از سه دایره عظیمه اند که یکدیگر را در نقاط A ، B و C قطع کرده اند. معمولاً زوایای مثلث کروی با حروف بزرگ A ، B و C ، و اضلاع مقابل آنها با حروف کوچک a ، b و c مشخص می شوند. چون اضلاع یک مثلث کروی کمانهایی از دوائر عظیمه اند، بنابراین اندازه آنها برحسب درجه بیان شده و برابر با زوایایی اند که این کمانها در مرکز کره، می سازند. بعبارت دیگر چنانکه شعاعهای کره در دوسر هر ضلع رسم شود، زاویه بین هر دو شعاع برابر اندازه زاویه ای ضلع مربوط است. بنابراین مطابق شکل (۴-۴) وقتی که نوشته می شود $\sin a$ ، منظور سینوس زاویه بین شعاعهای رسم شده در نقاط B و C (زاویه \widehat{BOC}) است.

همچنین در شکل (۴-۳) زاویه کروی مثلث کروی در رأس A ، برابر زاویه $\widehat{A_1AA_2}$ بین دو خط AA_1 و AA_2 است که به ترتیب بر کمانهای AB و AC در نقطه A ، بصورت مماس رسم شده اند که خود این کمانها قسمتی از دایره های عظیمه مربوط بوده و خطوط مماس شده، در صفحات آنها قرار دارند.

۴. خواص مثلث کروی

خواص یک مثلث کروی به شرح زیر است:



شکل (۴-۴) — برابری اندازه اضلاع مثلث کروی با زوایای مربوط در مرکز کره. اندازه کمان BC برابر با زاویه \hat{BOC} است.

۱. اندازه هر زاویه یک مثلث کروی از 180° (2π) کمتر است.
۲. مجموع سه زاویه یک مثلث کروی از 180° بیشتر و از 270° (3π) کمتر است.
۳. مجموع اندازه‌های هر دو ضلع یک مثلث کروی از اندازه ضلع سوم بیشتر است.
۴. اگر مجموع دو ضلع یک مثلث کروی برابر 180° باشد، مجموع زوایای روبروی آنها نیز برابر 180° خواهد بود.
۵. زاویه کوچکتر در یک مثلث کروی روبروی ضلع کوچکتر قرار دارد و برعکس زاویه بزرگتر مقابل ضلع بزرگتر است.

۵. فرمولهای یک مثلث کروی

شش مشخصه یک مثلث کروی، سه زاویه A ، B و C و سه ضلع a ، b و c می باشند. اگر در یک مثلث کروی سه پارامتر از این شش پارامتر معلوم باشد، با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، می توان سه مشخصه دیگر را محاسبه کرد. این فرمولها به شرح زیرند:

۱. فرمول سینوس:

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} \quad (۴-۱)$$

۲. فرمول کسینوس:

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\sin b \sin c} \quad (۴-۲)$$

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \quad \text{و یا،}$$

همچنین،

$$\cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a \quad (۴-۳)$$

۳. فرمولهای محاسبه نصف یک زاویه:

$$\sin \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-b) \sin(s-c)}{\sin b \sin c}} \quad (۴-۴)$$

$$\cos \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin S \sin(s-a)}{\sin b \sin c}} \quad (۴-۵)$$

$$\tan \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-b) \sin(s-c)}{\sin S \sin(s-a)}} \quad (۴-۶)$$

که در آنها،

$$s = \frac{1}{2}(a+b+c)$$

۴. فرمولهای مشابه فرمولهای قبلی برای محاسبه نصف یک ضلع:

$$\sin \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{-\cos S \cos(S-A)}{\sin B \sin C}} \quad (۴-۷)$$

$$\cos \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{\cos(S-B) \cos(S-C)}{\sin B \sin C}} \quad (۴-۸)$$

$$\tan \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{-\cos S \cos(S-A)}{\cos(S-B) \cos(S-C)}} \quad (۴-۹)$$

که در آنها،

$$S = \frac{1}{2}(A+B+C)$$

۵. فرمولهای محاسبه نصف مجموع و یا تفاضل دو ضلع:

$$\tan \frac{a+b}{2} = \frac{\cos \frac{A-B}{2}}{\cos \frac{A+B}{2}} \tan \frac{c}{2} \quad (۴-۱۰)$$

$$\tan \frac{a-b}{2} = \frac{\sin \frac{A-B}{2}}{\sin \frac{A+B}{2}} \tan \frac{c}{2} \quad (۴-۱۱)$$

۶. فرمولهای محاسبه نصف مجموع و یا تفاضل دو زاویه:

$$\tan \frac{A+B}{2} = \frac{\cos \frac{a-b}{2}}{\cos \frac{a+b}{2}} \cot \frac{C}{2} \quad (۴-۱۲)$$

$$\tan \frac{A-B}{2} = \frac{\sin \frac{a-b}{2}}{\sin \frac{a+b}{2}} \cot \frac{C}{2} \quad (۴-۱۳)$$

۶. مثلث کروی قائم الزاویه

چنانکه یکی از زوایای یک مثلث کروی برابر با 90° درجه باشد، مثلث کروی مربوط، قائم الزاویه است. روابط مثلث کروی قائم الزاویه را می توان با استفاده از قاعده نیپر در مورد قطعات محصور در یک دایره^۲، بدست آورد. در شکل (۴-۵)، مثلث کروی ABC قائم الزاویه است که در آن $\angle C = 90^\circ$ می باشد. نیپر قطعات محصور در یک دایره را، مطابق شکل، به ترتیب زیر تعریف کرده است:

۱. ضلع a ، یکی از اضلاع زاویه قائمه مثلث کروی.

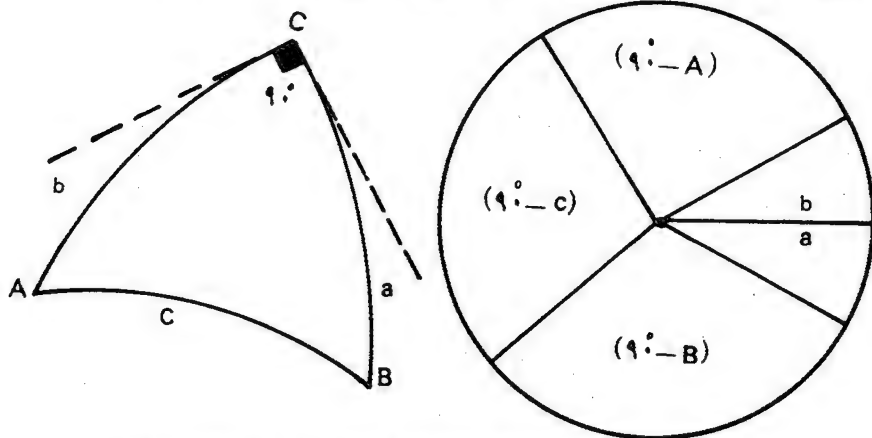
۲. ضلع b ، ضلع دیگر زاویه قائمه مثلث کروی.

۳. متمم زاویه A (زاویه روبروی ضلع a) یعنی $(90^\circ - A)$.

۴. متمم ضلع c (ضلع مقابل زاویه قائمه C) یعنی $(90^\circ - c)$.

۵. متمم زاویه B (زاویه مقابل ضلع b) یعنی $(90^\circ - B)$.

پنج قطعه مذکور در فوق، به ترتیبی که در مثلث قائم الزاویه مربوط، قرار گرفته اند، در یک دایره، قرار داده شده اند. لذا اگر با ضلع a شروع کنیم، سایر قطعات، به ترتیب عبارتند از b ، $(90^\circ - A)$ ، $(90^\circ - c)$ و $(90^\circ - B)$. سپس چنانکه هر قطعه ای را بعنوان قطعه وسطی در نظر بگیریم، دو قطعه، مجاور آن و دو قطعه، مقابل



شکل (۴-۵) — قاعده نیپر در مورد قطعات محصور در یک دایره در رابطه با مشخصات یک مثلث کروی.

آن قرار دارند و روابط زیر به شرح زیر خواهد بود:

حاصلضرب تانژانتهای قطعات مجاور = سینوس هر قطعه وسطی
 حاصلضرب کسینوسهای قطعات مقابل = سینوس هر قطعه وسطی

مثلاً یعنی،

$$\sin b = \tan a \tan(90^\circ - A) \quad (4-14)$$

$$\sin b = \cos(90^\circ - B) \cos(90^\circ - C) \quad (4-15)$$

با در نظر گرفتن هر قطعه‌ای بعنوان قطعه وسطی، می‌توان همه روابط ممکن، بین اضلاع و زوایای یک مثلث کروی قائم الزاویه، را بدست آورد.

۷. کاربرد بعضی از فرمولهای مثلثات کروی

چنانکه قبلاً نیز توضیح داده شد، اطلاعاتی در موضوع مثلثات کروی برای محاسبه جهت قبله، لازم است. لذا در این بخش با ارائه چند مثال، طرز استفاده از بعضی از فرمولهای مثلثات کروی را بیان کرده، ادامه مطلب را در بخش پنجم پی می‌گیریم.
 مثال (۴-۱) — کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه A و B با مختصات جغرافیایی زیر را بر روی زمین (بعنوان یک کره کامل) محاسبه کنید.

$$\varphi_A = 21^\circ N \quad \lambda_A = 40^\circ E$$

$$\varphi_B = 36^\circ N \quad \lambda_B = 51^\circ E$$

شعاع کره زمین را ۶۳۷۰ کیلومتر در نظر بگیرید.

راه حل — وضعیت نقاط A و B بر روی کره زمین، در شکل (۴-۶) نمایانده شده است. اگر نقطه P، قطب شمال جغرافیایی زمین باشد، در مثلث کروی ABP خواهیم داشت:

$$b = \widehat{AP} = 90^\circ - \varphi_A = 90^\circ - 21^\circ = 69^\circ$$

$$a = \widehat{BP} = 90^\circ - \varphi_B = 90^\circ - 36^\circ = 54^\circ$$

$$P = \widehat{APB} = \lambda_B - \lambda_A = 51^\circ - 40^\circ = 11^\circ$$

کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه A و B در امتداد کمان AB از دایره عظیمه‌ای

است که از دو نقطه A و B گذری کند. در مثلث کروی ABP، دو ضلع و یک زاویه آن معلوم است، لذا با استفاده از فرمول کسینوس، یعنی فرمول (۴-۲)، می توان اندازه ضلع (AB=P) را با استفاده از ماشین حساب، محاسبه کرد:

$$\cos P = \frac{\cos p - \cos a \cos b}{\sin a \sin b}$$

$$\cos p = \cos P \sin a \sin b + \cos a \cos b$$

$$\cos p = \cos 11^\circ \sin 52^\circ \sin 69^\circ + \cos 52^\circ \cos 69^\circ$$

$$\cos p = 0.74141 + 0.21064 = 0.95205$$

$$p = 17^\circ / 81$$

اما با توجه به دایره عظیمه ای که کمان AB قسمتی از آن است، خواهیم داشت:

$$\text{طول کمان AB} = \frac{2 \times (\text{شعاع دایره عظیمه}) \times \pi}{360^\circ} \times (17^\circ / 81)$$

$$\widehat{AB} \text{ طول} = \frac{6370 \times 17^\circ / 81 \times \pi}{180^\circ}$$

$$\widehat{AB} \text{ طول} = 1980.07 \text{ کیلومتر}$$

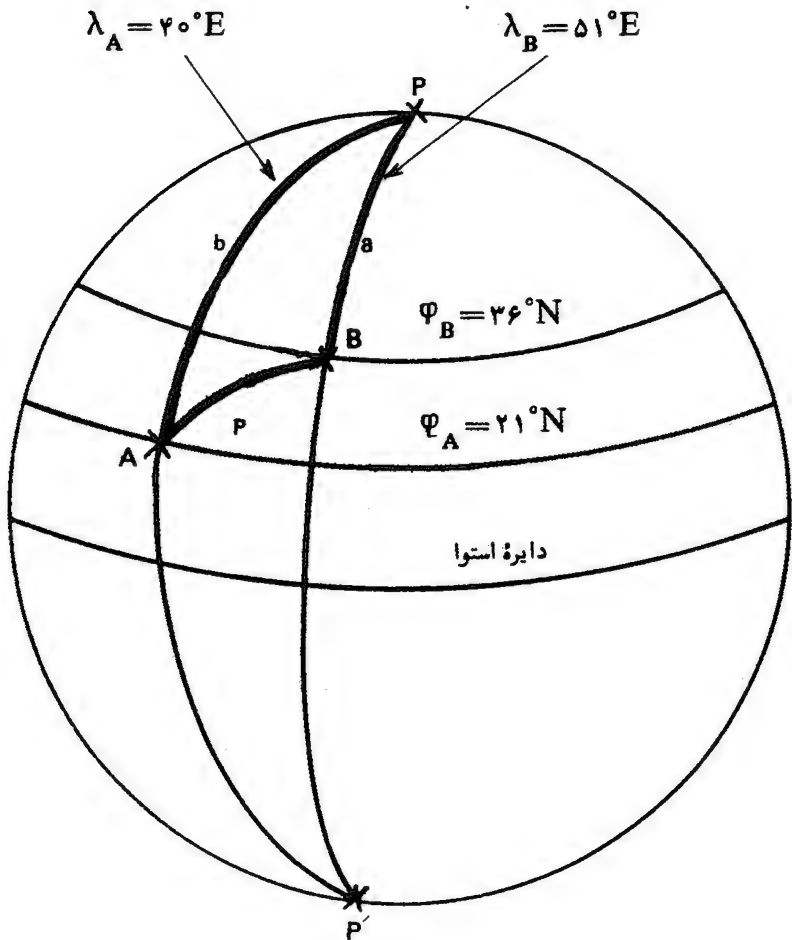
در نتیجه، کوتاه ترین فاصله بین دو نقطه A و B برابر ۱۹۸۰/۰۷ کیلومتر است.

مثال (۴-۲) — جهت نقطه A از نقطه B و جهت نقطه B از نقطه A را در امتداد دایره عظیمه ای که از آنها می گذرد، برای مثال (۴-۱) محاسبه کنید.

راه حل — جهت نقطه A از نقطه B عبارت از زاویه B و جهت نقطه B از نقطه A برابر زاویه A است. زوایای A و B را می توان از فرمولهای محاسبه نصف مجموع و یا تفاضل دو زاویه، یعنی فرمولهای (۴-۱۲) و (۴-۱۳) محاسبه کرد:

$$\tan \frac{(A+B)}{2} = \frac{\cos \frac{(a-b)}{2}}{\cos \frac{(a+b)}{2}} \cot \frac{P}{2}$$

$$\tan \frac{(A-B)}{2} = \frac{\sin \frac{(a-b)}{2}}{\sin \frac{(a+b)}{2}} \cot \frac{P}{2}$$



شکل (۴-۶) — مثال (۴-۱)، محاسبه طول کوتاهترین فاصله بین نقاط A و B بر روی کره زمین.

در این مثال داریم:

$$\frac{(a-b)}{2} = \frac{(\Delta 4^{\circ} - \Delta 9^{\circ})}{2} = -7^{\circ}/5$$

$$\frac{(a+b)}{2} = \frac{\Delta 4^{\circ} + \Delta 9^{\circ}}{2} = \Delta 1^{\circ}/5$$

$$\frac{P}{2} = \frac{11^{\circ}}{2} = \Delta 5^{\circ}/5$$

$$\tan \frac{(A+B)}{2} = \frac{\cos(-7^{\circ}/5)}{\cos(\Delta 1^{\circ}/5)} \cot(\Delta 5^{\circ}/5)$$

در نتیجه

$$\frac{(A+B)}{2} = 87^{\circ}/34672$$

$$\tan \frac{(A-B)}{2} = \frac{\sin(-7^{\circ}/5)}{\sin(\Delta 1^{\circ}/5)} \cot(\Delta 5^{\circ}/5)$$

و

$$\frac{(A-B)}{2} = -57^{\circ}/044539$$

که در نتیجه

لذا جواب صحیح بصورت زیر است:

$$\hat{B} \text{ از } A = B = 144^{\circ}/39125$$

$$\hat{A} \text{ از } B = A = 30^{\circ}/302181$$

می توان صحت جواب را با استفاده از رابطه سینوسی و یا فرمول (۴-۱)، امتحان کرد:

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin p}{\sin P}$$

$$\frac{\sin(\Delta 4^{\circ})}{\sin(30^{\circ}/30)} = \frac{\sin(\Delta 9^{\circ})}{\sin(144^{\circ}/39)} = \frac{\sin(17^{\circ}/81)}{\sin 11^{\circ}}$$

که خواهیم داشت

$$\frac{\sin(\Delta 4^{\circ})}{\sin(30^{\circ}/30)} = 1/60$$

$$\frac{\sin(17^\circ/81)}{\sin(11^\circ)} = 1/60 \quad \text{و}$$

$$\frac{\sin(69^\circ)}{\sin(144^\circ/39)} = 1/60 \quad \text{و}$$

این بدان معنی است که محاسبات درست است.

مثال (۴-۳) - فاصله دو نقطه A و B را با مختصات جغرافیایی زیر در امتداد مدار مشترک آنها ($\varphi = 21^\circ N$) محاسبه کنید:

$$\varphi_A = 21^\circ N \quad \lambda_A = 40^\circ E$$

$$\varphi_B = 21^\circ N \quad \lambda_B = 106^\circ E$$

راه حل - با توجه به مطالبی که در بخش (۲-۵)، در فصل اول کتاب داده شد، فاصله دو نقطه A و B در امتداد مدار 21° شمالی به شرح زیر محاسبه می شود:

$$\widehat{AB} \text{ طول} = \frac{(B \text{ و } A \text{ جغرافیایی طول تفاوت}) \times \pi \times 6370 \times \cos \varphi}{108^\circ}$$

$$\widehat{AB} \text{ طول} = \frac{(106^\circ - 40^\circ) \times \pi \times 3670 \times \cos 21^\circ}{180^\circ}$$

$$\widehat{AB} \text{ طول} = 6850/34 \text{ کیلومتر}$$

مثال (۴-۴) - دو نقطه M و H بر روی کره زمین، دارای عرض جغرافیایی برابر بوده و اختلاف طول جغرافیایی آنها، مساوی λ است. یعنی،

$$\varphi_H = \varphi_M = \varphi$$

$$\lambda_H - \lambda_M = \lambda$$

کوتاهترین فاصله دو نقطه H و M را محاسبه کنید. سپس با استفاده از فرمول بدست آمده، کوتاهترین فاصله دو نقطه A و B، داده شده در مثال (۴-۳) را محاسبه کرده، نتیجه را با فاصله محاسبه شده در امتداد مدار مشترک دو نقطه ($\varphi_A = \varphi_B = 21^\circ N$) مقایسه کنید. شعاع متوسط کره زمین را با R مشخص سازید.

راه حل - در شکل (۴-۷، الف)، نقاط H و M دارای عرض جغرافیایی برابرند،

کمان \widehat{MFH} قسمتی از دایره عظیمه‌ای است که از این دو نقطه، می‌گذرد و نقطه F وسط این کمان است $(\widehat{MF} = \widehat{FH})$. در نتیجه $\widehat{MFP} = \widehat{HFP} = 90^\circ$. کمان \widehat{MCH} دایره مدار مشترک دو نقطه M و H است و \widehat{MP} و \widehat{HP} نصف النهارهای دو نقطه است. \widehat{FP} نیز نصف النهار نقطه وسط کمان \widehat{MFH} است. بنابراین مثلث‌های کروی MPF و HPF قائم الزاویه‌اند. در مثلث قائم الزاویه HFP خواهیم داشت:

$$\widehat{PH} = f = 90^\circ - \varphi_H = 90^\circ - \varphi$$

$$\widehat{PF} = h$$

$$\widehat{FPH} = \frac{\lambda}{2}$$

طول کمان $\widehat{FH} = p$ را می‌توان با استفاده از قاعدهٔ نپر محاسبه کرد: در شکل (۷-۴، ب) قطعات مربوط، در دایره، برای مثلث کروی قائم الزاویهٔ HPF نشان داده شده است. در نتیجه خواهیم داشت:

$$\sin p = \cos\left(90^\circ - \frac{\lambda}{2}\right) \cos(90^\circ - f)$$

$$= \sin \frac{\lambda}{2} \sin f$$

$$= \sin \frac{\lambda}{2} \sin(90^\circ - \varphi) = \sin \frac{\lambda}{2} \cos \varphi$$

$$\widehat{FH} = p = \sin^{-1}\left(\sin \frac{\lambda}{2} \cos \varphi\right) \quad \text{بر حسب درجه}$$

$$\widehat{MFH} = 2 \times \widehat{FH} = 2p \quad \text{ابا،}$$

$$\widehat{MFH} = 2 \sin^{-1}\left(\sin \frac{\lambda}{2} \cos \varphi\right) \quad \text{پس، بر حسب درجه}$$

و طول کمان \widehat{MFH} بصورت زیر خواهد بود:

$$\widehat{MFH} = \frac{2\pi R}{360^\circ} \times 2 \sin^{-1}\left(\sin \frac{\lambda}{2} \cos \varphi\right) \quad \text{طول}$$

بدون استفاده از قاعدهٔ نیپر، می توان همین نتیجه را با استفاده از روابط مثلثاتی نیز بدست آورد. در شکل (۴-۸) نقاط H و M بر روی کره، نشان داده شده است. نقطهٔ M توسط خطی مستقیم به نقطهٔ H وصل شده است که نقطهٔ D وسط آنست ($MD=DH$)

در نتیجه $\widehat{MDO} = 90^\circ$ و $\widehat{HOD} = \widehat{MOD} = \frac{\lambda}{2}$. سپس می توان نوشت،

$$\sin \widehat{MOD} = \sin \frac{\lambda}{2} = \frac{MD}{OM} = \frac{MD}{R \cos \varphi}$$

$$MD = R \cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2}$$

اگر دایرهٔ عظیمه ای بر دو نقطهٔ M و H مرور دهیم، زاویهٔ $\widehat{MO'H}$ در مقابل کمانی از آن که بین این دو نقطه واقع است، قرار خواهد گرفت. لذا برای محاسبهٔ طول کمان مربوط، کافی است زاویهٔ $\widehat{MO'H}$ را محاسبه کنیم. اما،

$$\widehat{MO'H} = 2 \times \widehat{MO'D}$$

و

$$\widehat{MO'D} = 90^\circ$$

لذا،

$$\sin \widehat{MO'D} = \frac{MD}{R}$$

$$\sin \widehat{MO'D} = \frac{R \cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2}}{R}$$

$$\widehat{MO'D} = \sin^{-1} \left(\cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2} \right)$$

$$\widehat{MO'H} = 2 \sin^{-1} \left(\cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2} \right)$$

و بسادگی می توان دریافت که این نتیجه، با حاصل روش قبلی، یکی است.

در مرحلهٔ بعد، با استفاده از فرمول بدست آمده با شمارهٔ (۴-۱۶)، کوتاهترین

فاصلهٔ بین دو نقطه A و B در مثال (۴-۳) را محاسبه می کنیم:

$$\text{فاصله } AB \text{ در امتداد دایره عظیمه} = \frac{\pi R}{90^\circ} \sin^{-1} \left(\sin \frac{\lambda}{2} \cos \varphi \right)$$

$$\text{فاصله } AB \text{ در امتداد دایره عظیمه} = \frac{\pi \times 6370}{90^\circ} \sin^{-1} \left[\sin \left(\frac{106^\circ - 40^\circ}{2} \right) \cos 21^\circ \right]$$

$$\text{کیلومتر } 6795/52 = \text{کوتاهترین فاصله } A \text{ و } B$$

اما قبلاً فاصله بین دو نقطه A و B در امتداد مدار مشترک آنها را در مثال (۴-۳) محاسبه کردیم که نتیجه آن (۶۸۵۰/۳۴) کیلومتر بود. لذا دیده می‌شود که کوتاهترین فاصله بین دو نقطه A و B با اندازه

$$\text{کیلومتر } 6795/52 - 6850/34 = 54/82$$

از فاصله مداری آنها کمتر است.

بنابراین دیده می‌شود که بین دو نقطه، مانند A و B با عرض جغرافیایی برابر، می‌توان دو مسیر مختلف را طی کرد: یکی که کوتاهترین مسیر است و در امتداد دایره عظیمه‌ای قرار دارد که از این دو نقطه می‌گذرد، و دیگری با طول بیشتر، در امتداد مدار مشترک آنهاست. در طی مثال بعدی بزرگترین فاصله نصف‌النهاری بین این دو مسیر را محاسبه می‌کنیم:

مثال (۴-۵) — بزرگترین فاصله نصف‌النهاری بین دو مسیر MFH (در امتداد دایره عظیمه) و MCH (در امتداد مدار مشترک) مربوط به شکل (۴-۷) در مثال (۴-۴) را محاسبه کنید؛ سپس فاصله مربوط را برای مقادیر عددی مثال (۴-۳) بدست آورید.
راه حل — در شکل (۴-۷)، بزرگترین فاصله نصف‌النهاری بین مسیر دایره

عظیمه و مسیر مدار مشترک، در امتداد کمان CF است ($\widehat{PFM} = \widehat{PFH} = 90^\circ$). طول CF به شرح زیر است:

$$\widehat{CF} = \widehat{PC} - \widehat{PF} = (90^\circ - \varphi) - h$$

طول $\widehat{PF} = h$ را می‌توان با استفاده از قاعده نپر در مثلث کروی قائم‌الزاویه PFH محاسبه کرد،

$$\sin \left(90^\circ - \frac{\lambda}{2} \right) = \tan h \tan (90^\circ - f)$$

و یا،

$$\cos \frac{\lambda}{2} = \tanh \cot f = \tanh \cot (90^\circ - \varphi)$$

$$\cos \frac{\lambda}{\varphi} = \tan h \tan \varphi$$

$$\tan h = \cos \frac{\lambda}{\varphi} \cot \varphi$$

$$\widehat{PF} = h = \tan^{-1} \left(\cos \frac{\lambda}{\varphi} \cot \varphi \right) \quad \text{پس،}$$

$$\widehat{CF} = (90^\circ - \varphi) - \tan^{-1} \left(\cos \frac{\lambda}{\varphi} \cot \varphi \right) \quad \text{ولذا،}$$

و در نتیجه،

$$\widehat{CF} \text{ طول کمان} = \frac{\pi R \left[(90^\circ - \varphi) - \tan^{-1} \left(\cos \frac{\lambda}{\varphi} \cot \varphi \right) \right]}{180^\circ} \quad (4-17)$$

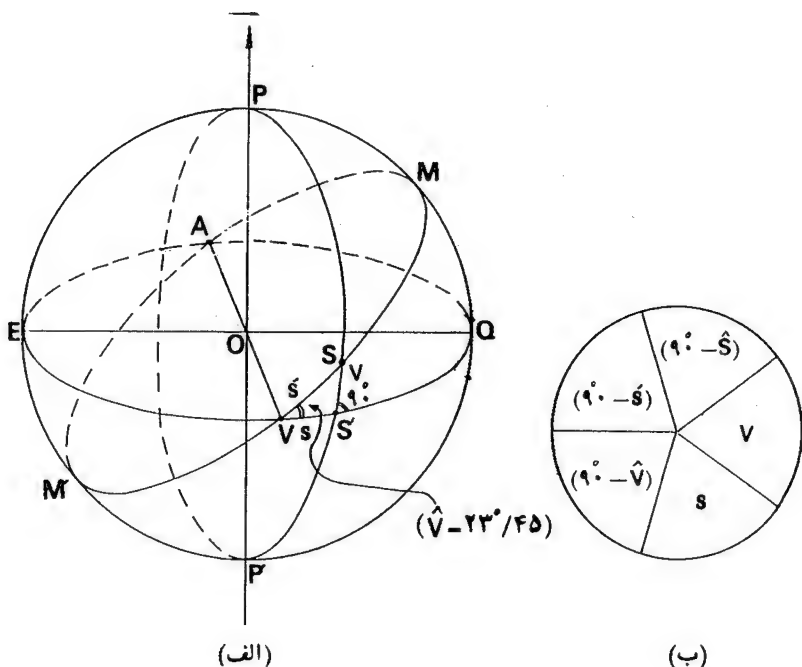
سپس با استفاده از این فرمول، می توان این فاصله را برای مثال عددی (۴-۳) حساب کرد:

$$\widehat{CF} \text{ طول} = \frac{\pi \times 6370 \times \left[(90^\circ - 21^\circ) - \tan^{-1} \left(\cos \frac{66^\circ}{\varphi} \cot 21^\circ \right) \right]}{180^\circ}$$

کیلومتر $399/55 =$ فاصله نصف النهاری دو مسیر

چنانکه این فاصله را با اختلاف طول دو مسیر که برابر $54/82$ کیلومتر است، مقایسه کنیم دیده می شود که فاصله نصف النهاری دو مسیر خیلی بیشتر از اختلاف طول دو مسیر است. این مطلب از نظر تعیین جهت قبله تقاطعی که عرض جغرافیایی آنها برابر عرض جغرافیایی مکه معظمه است، حائز اهمیت می باشد و در فصل پنجم، در این باره توضیح بیشتری داده خواهد شد.

مثال (۴-۶) — در شکل (۴-۹، الف) گره ای با مرکز O نشان داده شده است. دو دایره عظیمه EVQA و MVMA بر روی آن بصورتی رسم شده اند که زاویه بین صفحات آنها برابر 23° و 27° است. فرض کنید که نقطه S با سرعتی یکنواخت، از نقطه V بر روی دایره MVMA شروع به حرکت کند. همچنین فرض کنید که نقطه S تصویر



شکل (۴-۹) — شکل مربوط به مثال (۴-۶).

نقطه S بر روی دایره عظیمه EVQA در امتداد دایره عظیمه psp باشد، که صفحه خود این دایره بر صفحه دایره EVQA عمود است. حال اگر نقطه S با اندازه یک درجه از نقطه V بر روی دایره عظیمه MVMA حرکت کند، محاسبه کنید که اندازه زاویه ای کمان VS چند است.

راه حل — مثلث کروی VSS قائم الزاویه است و لذا اندازه کمان $\widehat{VS} = s$ را می توان با استفاده از قاعده نیپر حساب کرد. با توجه به شکل (۴-۹، ب)، داریم:

$$\sin(90^\circ - \widehat{V}) = \tan \tan(90^\circ - s')$$

$$\cos \widehat{V} = \tan s \cot s'$$

$$\cos(23^\circ/45) = \tan s \cot 1^\circ$$

$$\tan s = 0/0160133$$

$$s = 0/917416 \text{ درجه}$$

$$\widehat{VS'} = s = 55' \text{ و } 2''/7$$

بنابراین طی یک درجه از نقطه V بر روی دایره عظیمه $MVMA$ ، برابر طی ۵۵ دقیقه و $2/7$ ثانیه توسط نقطه S' بر روی دایره عظیمه $EVQA$ خواهد بود. از نتیجه این مثال در فصل ششم استفاده خواهد شد.

روشهای قبله یابی

تا اینجای مطلب، چگونگی تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و مختصات جغرافیای یک محل، مورد بررسی قرار گرفت و همچنین مثالهایی در مثلثات کروی داده شد. این اطلاعات در قبله یابی مورد لزوم اند و در این فصل از آنها استفاده خواهد شد. مطالب این فصل، خواننده را برای درک هرچه بیشتر فصول بعدی، در مورد تحقیقات لازم در قبله یابی، آماده خواهد کرد.

در این فصل، روشهای مختلف قبله یابی مورد بررسی قرار می گیرد. ابتدا شرح مختصری راجع به قبله داده می شود، سپس روشهای مورد نظر، بررسی می گردد.

۱. قبله

کلمه قبله عربی است (قبلة) و به معنای آنچه که پیش روی گیرند و جهت و سمت را گویند. قبله عبارت از جهتی است که بسوی کعبه — خانه خدا در مکه معظمه — قرار دارد. مسلمین بهنگام نماز رو به قبله قرار می گیرند

بعلاوه دانستن جهت قبله، در بسیاری دیگر از مراسم مذهبی مسلمین، مورد لزوم است. جهت قبله در کلیه مساجد که محل عبادت مسلمانان است، مشخص می باشد. در صحن مساجد، محراب بسوی قبله ساخته می شود. بنابراین جهت قبله در طرح و بنای مساجد حایز اهمیت است. مسلمین در خانه های خود نیز نیازمند تعیین جهت قبله هستند. بهنگام ذبح و قربانی، دانستن جهت قبله نیز لازم است. همچنین در محوطه گورستانها، جهت قبله را تعیین می کنند.

هزاران مسجد، در هر کشور اسلامی دارای جهت مشخص قبله اند و همچنین دانستن جهت قبله در معماری اسلامی، از ضروریات است. تمام این نکات، حاکی از آنست که جهت قبله در میان مسلمین دارای اهمیت زیادی است.

۲. کعبه

کعبه نیز عربی است (کعبه) و بمعنای خانه چهارگوش و غرفه است. کعبه یک ساختمان کوچک مکعبی شکل است که در مسجد بزرگ در مکه معظمه، قرار دارد. خانه کعبه بارها تجدید بنا شده است و ساختمان فعلی منسوب به حضرت ابراهیم (ع) و حضرت اسماعیل (ع) است. کعبه را بیت الله (خانه خدا) و یا بیت الحرام نیز می نامند. اصطلاح بیت الحرام از آنجا ناشی شده که داخل شدن در آن، برای مشرکان حرام بوده است.

۳. مکه

مقدس ترین شهر مسلمین، شهر مکه است که در کشور عربستان سعودی قرار دارد. مکه مرکز منطقه حجاز و در حدود ۷۲ کیلومتری شرق بندر جده که در کنار دریای سرخ است، قرار دارد.

پیروان حضرت محمد (ص) آن را (ام القری) به معنای مادر شهرهای نامیدند؛ اهمیت این شهر از آنجا ناشی شده، که محل تولد حضرت محمد (ص) است. اما این شهر قبل از میلاد آخرین پیغمبر خدا، نیز محل زیارت بوده است.

مسجد بزرگ مکه با حیاط مرکزی و ستونهای متعدد آن، در سطح یک میدان مرکزی قرار گرفته است. صحن این مسجد در فواصل بین ایام حج، بعنوان محل تدریس علوم، و علوم اسلامی بکار گرفته می شود. کعبه در حیاط مرکزی این مسجد قرار دارد که در حقیقت مقدس ترین محل مکه معظمه است و دقیقاً محلی است که جهت قبله در هر جای کره زمین، بسوی آن قرار می گیرد.

شهر مکه علاوه بر اینکه کعبه، مقدس ترین محل مسلمین را در بر دارد، از نظر مراسم حج و زیارت نیز حائز اهمیت زیادی است. حج یکی از ارکان دین اسلام است

و بر هر مسلمانی، انجام یک بار آن، در صورت توانایی جسمی و مالی، از واجبات است. مراسم حج سالی یک بار در ماه ذی حجه صورت می‌گیرد.

۴. مختصات جغرافیایی کعبه

در فصل چهارم دیدیم که برای بدست آوردن جهت نقطه‌ای مانند A، از نقطه‌ای مانند B، می‌بایست مختصات جغرافیایی آنها را داشته باشیم. لذا برای بدست آوردن جهت قبله در هر نقطه‌ای بر روی کره زمین، می‌بایست مختصات جغرافیایی کعبه و محل مورد نظر را بدانیم. این مطلب در بیشتر روشهای قبله‌یابی مصداق دارد.

متأسفانه مختصات جغرافیایی کعبه در اطلسهای جغرافیایی، داده نشده است. اما مختصات جغرافیایی شهر مکه در اطلسهای مختلف، با اندکی اختلاف داده شده است. مختصات جغرافیایی مکه که در این کتاب بکار رفته، از اطلس زیر گرفته شده است:

Emrys Jones, "The Atlas of World Geography," Sundial Books Limited, 59 Grosvenor Street, London, W1, 1977.

در این کتاب، مقادیر داده شده برای طول و عرض جغرافیایی مکه معظمه به شرح زیر است:

$$\varphi_M = 21^\circ 30' = \text{عرض جغرافیایی مکه}$$

$$\lambda_M = 39^\circ 54' = \text{طول جغرافیایی مکه}$$

از آنجاییکه در این کتاب، فقط به بیان روشها، اکتفا شده است، لذا این مختصات، بعنوان مختصات جغرافیایی کعبه فرض شده است و این فرض، در نتیجه بعضی از روشها، تأثیر چندانی ندارد. البته چنانکه در فصل نهم کتاب خاطر نشان شده است، در مورد کارهای دقیق، دانستن مختصات دقیق کعبه لازم است. شاید مختصات دقیق این مکان مقدس، تا بحال تعیین شده باشد که نگارنده نتوانسته باشد به آن دست یابد. بهر صورت تعیین مختصات جغرافیایی این محل با روشهای نجومی لازم است.

۵. روشهای تعیین قبله

جهت قبله تا سال دوم هجرت بسوی بیت المقدس بود. در ماه رجب سال دوم هجرت، به سوی کعبه تعیین شد. از این تاریخ به بعد، جهت خانه خدا اهمیت پیدا کرد. شاید در اوایل رواج اسلام، اهمیت مطلب، چندان نبوده، اما بعدها، بعثت اشاعه اسلام در سرزمینهای دورتر، جهت یابی قبله، دارای اهمیت فراوانی شد. امروزه، بعثت کثرت تردد و مسافرت، مسلمین در اقصی نقاط دنیا زندگی می کنند و لذا جهت یابی قبله از اهمیت بیشتری برخوردار است.

هزاران مسجد قدیمی از قرون گذشته، در ممالک اسلامی پراکنده اند. شاید تحقیق جالبی باشد که دریابیم گذشتگان، چگونه جهت قبله را تعیین می کردند. قطعاً از اسطرلاب بدین منظور استفاده می شده است. همچنین ممکن است بکمک دانش نجوم، و نقشه برداری که امروزه بسیار زیاد پیشرفت کرده است، دقت کار گذشتگان را بررسی کرد. در موارد بسیار دقیقتر، ممکن است علم زمین پیمایی (ژئودزی)^۱ را که در آن شکل واقعی زمین مورد بررسی قرار می گیرد، بکار گرفت—شکل زمین در فصل هشتم به صورت مختصر مورد بررسی قرار گرفته است—بعلاوه امروزه با کمک قمرهای مصنوعی و دانش نجوم و عکس برداری هوایی^۲، می توان وضعیت نقاط با فواصل زیاد را بر روی کره زمین، دقیقاً تعیین کرد.

در ایران فعالیتهایی در مورد قبله یابی در دهه های اخیر صورت گرفته است. در سال ۱۳۷۱ هجری قمری، سرتیپ مهندس عبدالرزاق خان بغایری، کتابی تحت عنوان «معرفة القبلة» که حاوی طول و عرض جغرافیایی و جهت قبله شهرهای زیادی در دنیا است، ارائه داده است که این کتاب تحت شماره (۱۳۸۱۲) در کتابخانه ملی ایران در تهران ثبت شده است.

تیمسار سرتیپ حسینعلی رزم آرا، رساله خود را تحت عنوان «قبله نمای رزم آرا» در سال ۱۳۳۴ هجری شمسی منتشر ساخت، اختراع قبله نمای رزم آرا در سال ۱۳۳۱ هجری شمسی توسط ایشان به ثبت رسیده است. رساله آقای رزم آرا در کتابخانه ملی، تحت شماره (۱۴۶۰۷) ثبت شده است. بعداً در این فصل راجع به قبله نمای مغناطیسی توضیح بیشتری داده خواهد شد.

دکتر عباس ریاضی کرمانی، چند روش قبله یابی را در کتاب خود تحت عنوان

«مقدمه ای بر نجوم عالی» آورده است. این کتاب از انتشارات دانشگاه تهران است که با شماره (۱۳۲۵) در سال ۱۳۵۰ منتشر گردیده است. در این کتاب، مختصات جغرافیایی و جهت قبله تعداد زیادی از شهرهای ایران و جهان ذکر شده است. مسلماً آثار دیگری در موضوع قبله یابی موجود است که نگارنده از وجود آنها بی اطلاع است.

نگارنده، درباره فعالیت‌های انجام شده در مورد قبله یابی، در زمانهای قبل از دهه های اخیر، تحقیقی انجام نداده است. در این مورد آثار ارزشمندی به زبان عربی موجود است و شاید زمینه جالبی باشد که درباره روشهای قبله یابی در ایران و سایر کشورهای اسلامی، در زمانهای پیشین، تحقیق جامعی صورت گیرد. البته موضوع قبله یابی در آثار بجا مانده از دانشمندان بزرگ جهانی، ابوریحان محمد بن احمد بیرونی خوارزمی (۳۶۲ هجری قمری - ۴۴۰ هجری قمری) از ارزش والایی برخوردار است و خود می تواند موضوع تحقیق گسترده ای باشد.

در ادامه این بخش، به روشهای مختلف قبله یابی می پردازیم:

۱-۵. محاسبه جهت قبله با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی

درحقیقت اساس این روش در مثال (۲-۴) در فصل چهارم، نمایانده شده است. در درجه اول می بایست طول و عرض جغرافیایی محل مورد نظر را تعیین و سپس با در دست داشتن مختصات جغرافیایی کعبه، جهت قبله را محاسبه کرد. در مرحله بعدی چهار جهت اصلی محل را مشخص ساخته، آنگاه جهت قبله را نسبت به آن توجیه کرد. در اینجا خواننده درخواهد یافت که چرا موضوعهای فصول قبلی به آن صورت انتخاب، و ارائه شده است.

روش محاسبه جهت قبله، با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، در طی یک مثال، داده می شود:

مثال (۱-۵) - جهت قبله در تهران، روش محاسباتی: جهت قبله را در نقطه ای در تهران با مختصات جغرافیایی زیر محاسبه کنید.

$$\varphi_T = 35^\circ 41' \text{ شمالی} \quad \lambda_T = 51^\circ 27' \text{ شرقی}$$

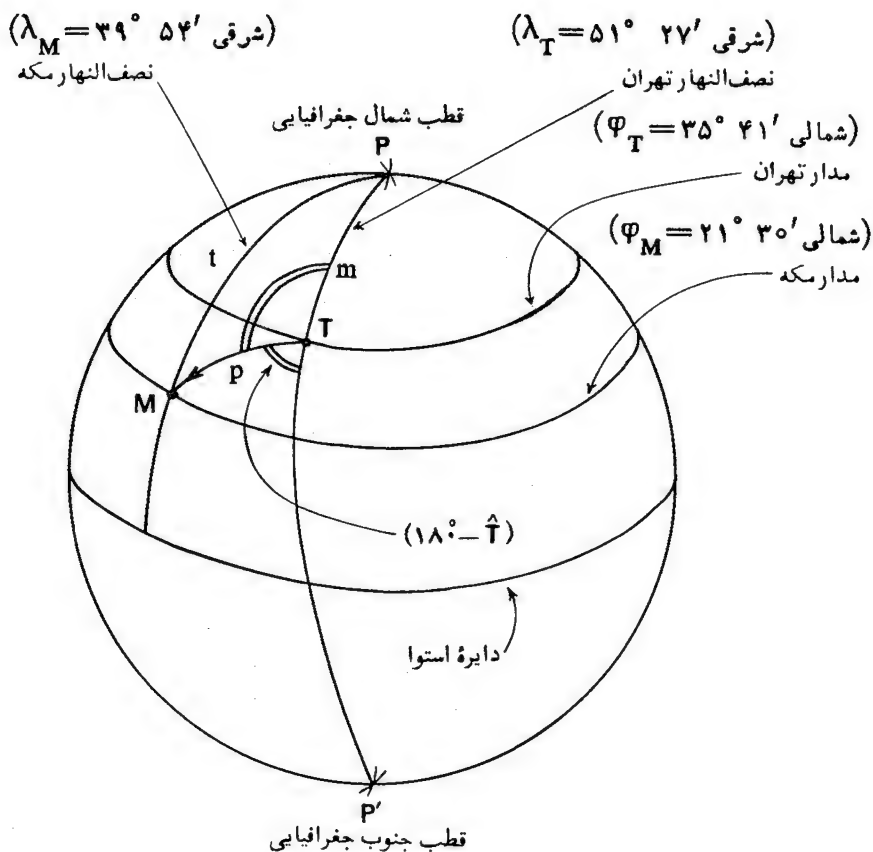
فرض می شود که مختصات جغرافیایی کعبه بصورت زیر باشد:

$$\varphi_M = 21^\circ 30' \text{ شمالی} \quad \lambda_M = 39^\circ 54' \text{ شرقی}$$

راه حل — چون در این روش، از روابط مثلثات کروی استفاده می شود، بناچار فرض می شود که شکل زمین کاملاً کروی است، و مختصات جغرافیایی داده شده را بر روی چنین کره ای منطبق می کنیم. در فصول بعدی راجع به تأثیر شکل واقعی زمین در اساس این روش، بحث خواهد شد.

با قبول فرض کروی بودن زمین، چنانکه در شکل (۵-۱) نشان داده شده، مسئله بصورت تعیین جهت نقطه M ، در مکه، از نقطه T ، در تهران، درمی آید، که این دقیقاً همان مثال (۴-۲)، مذکور در فصل چهارم است.

در شکل (۵-۱)، جهت نقطه M بعنوان کعبه، از نقطه T ، در تهران، عبارت از



شکل (۵-۱) — نمایش جهت قبله در تهران بر روی کره زمین، مثال (۵-۱).

زاویهٔ کروی $(\hat{T} = \hat{PTM})$ است. اما چنانکه مشاهده می‌شود، زاویهٔ T نسبت به امتداد شمال جغرافیایی، سنجیده شده است و لذا زاویهٔ جهت قبله نسبت به امتداد جنوب جغرافیایی برابر است با:

$$\hat{MTP}' = 180^\circ - \hat{T}$$

با بکار بردن فرمولهای مناسب مثلثات کروی، می‌توان زاویهٔ کروی \hat{T} را به شرح زیر محاسبه کرد:

$$\tan \frac{T+M}{2} = \frac{\cos \frac{(t-m)}{2}}{\cos \frac{(t+m)}{2}} \cot \frac{P}{2}$$

$$\tan \frac{T-M}{2} = \frac{\sin \frac{(t-m)}{2}}{\sin \frac{(t+m)}{2}} \cot \frac{P}{2}$$

که در آنها،

$$m = \widehat{PT} = 90^\circ - \varphi_T = 90^\circ - (35^\circ 41') = 54^\circ 19'$$

$$m = 54/31667$$

$$t = \widehat{PM} = 90^\circ - \varphi_M = 90^\circ - (21^\circ 30') = 68^\circ / 5$$

$$\frac{t-m}{2} = \frac{68^\circ / 5 - (54^\circ 19')}{2} = 7^\circ 5' / 5 = 7^\circ / 09167$$

$$\frac{t+m}{2} = \frac{68^\circ / 5 + (54^\circ 19')}{2} = 61^\circ 22' / 5 = 61^\circ / 40833$$

(لازم است تذکر داده شود که در این محاسبات از ماشین حساب الکترونیکی که در در سالهای اخیر در سطح وسیعی رواج یافته، استفاده شده است.)

$$\hat{P} = \widehat{MPT} = \lambda_T - \lambda_M = (51^\circ 22') - (39^\circ 54')$$

$$\hat{P} = 11^{\circ}33' = 11^{\circ}/55$$

$$\frac{\hat{P}}{2} = \frac{11^{\circ}33'}{2} = 5^{\circ}46'/5 = 5^{\circ}/775$$

در نتیجه با بکار بردن مقادیر مربوطه در فرمولهای فوق، داریم:

$$\tan \frac{(T+M)}{2} = \frac{\cos(7^{\circ}5'/5)}{\cos(61^{\circ}24'/5)} \cot(5^{\circ}46'/5)$$

$$\tan \frac{(T+M)}{2} = 20/503193$$

$$\frac{T+M}{2} = 87^{\circ}/207732$$

$$\tan \frac{(T-M)}{2} = \frac{\sin(7^{\circ}5'/5)}{\sin(61^{\circ}24'/5)} \cot(5^{\circ}46'/5)$$

و

$$\tan \frac{(T-M)}{2} = 1/3902481$$

$$\frac{T-M}{2} = 54^{\circ}/272684$$

$$\hat{M} = 32^{\circ}/935048$$

که در نتیجه

$$\hat{T} = 141^{\circ}/48041$$

لذا جهت قبله در نقطه مورد نظر در تهران نسبت به جهت جنوب جغرافیایی

برابر است با:

$$\begin{aligned} (180^{\circ} - \hat{T}) &= 180^{\circ} - 141^{\circ}/48041 = 38^{\circ}/51959 \\ &= 38^{\circ} \quad 31' \quad 10''/52 \end{aligned}$$

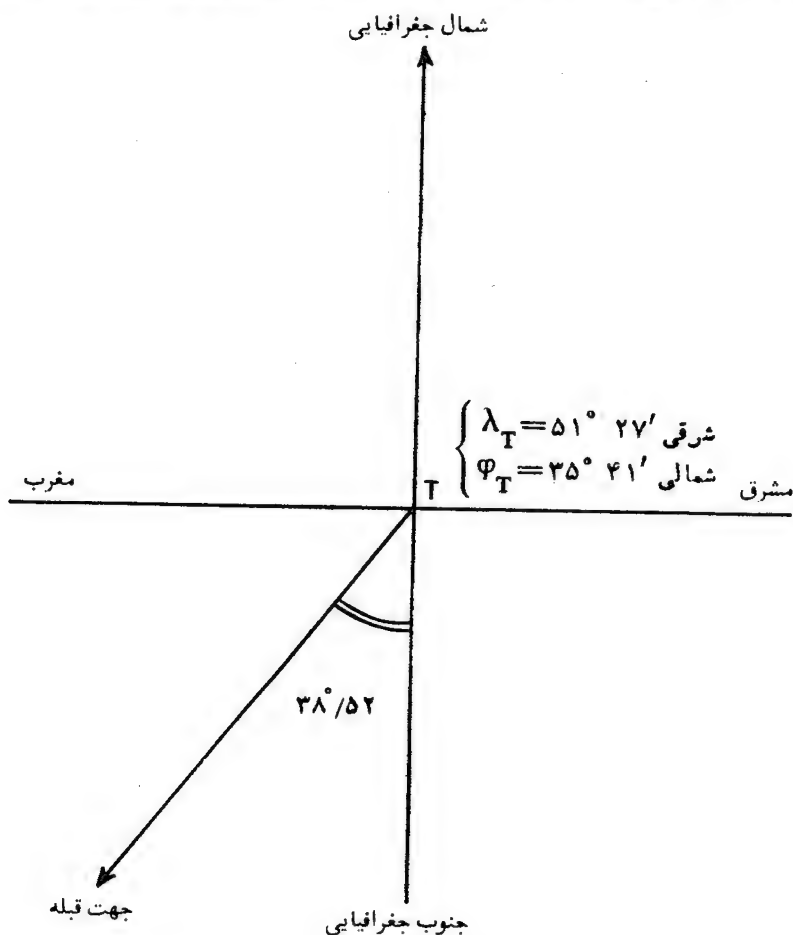
$$\frac{\sin t}{\sin T} = \frac{\sin m}{\sin M}$$

نتیجه محاسبه رامی شود بصورت ذیل کنترل کرد:

$$\frac{\sin t}{\sin T} = \frac{\sin(68^\circ/5)}{\sin(141^\circ/48041)} = 1/4939695$$

$$\frac{\sin m}{\sin M} = \frac{\sin(53^\circ 19')}{\sin(32^\circ/935048)} = 1/4939696$$

که برابری روابط فوق نشانگر صحت محاسبات قبله است.
با اندکی دقت در شکل (۵-۱)، دریافته می شود که جهت قبله در تهران در جهت جنوب غربی است و لذا چنانکه در شکل (۵-۲) نمایانده شده است، جهت قبله



شکل (۵-۲) — جهت قبله در نقطه ای در تهران نسبت به امتداد جنوب جغرافیایی.

در این نقطه در تهران، با فرض کروی شکل بودن زمین، نسبت به جهت جنوب جغرافیایی، $۳۸^{\circ}/۵۲'$ به سمت مغرب است.

در اینجا، لازم است، مجدداً به مثال (۲-۴) در فصل چهارم کتاب، برگردیم. مختصات انتخاب شده برای نقاط A و B در تهران، به ترتیب در حدود مختصات جغرافیایی مکه و تهران، عمداً در نظر گرفته شدند. یعنی مختصات جغرافیایی نقاط A و B با تقریب حدود $۳۰'$ به ترتیب، برابر مختصات جغرافیایی مکه و تهران است. اما

اندازه زاویه کروی $\angle ABP$ ، در شکل (۶-۴)، برابر $(۳۵^{\circ}/۶۱')$ است. با مقایسه این

نتیجه، با حاصل زاویه کروی $(۳۸^{\circ}/۵۲') = \angle MTP$ ، در شکل (۱-۵)، درمی یابیم که نتیجه محاسبه تا چه حد بستگی به دقت در مقادیر مربوط به طول و عرض جغرافیایی دارد، نتیجه آنکه در روش محاسبه جهت قبله، با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، می بایست مختصات جغرافیایی محل مورد نظر و خانه کعبه، دقیقاً معلوم باشند.

۲-۵. تعیین جهت قبله با روش ترسیمی

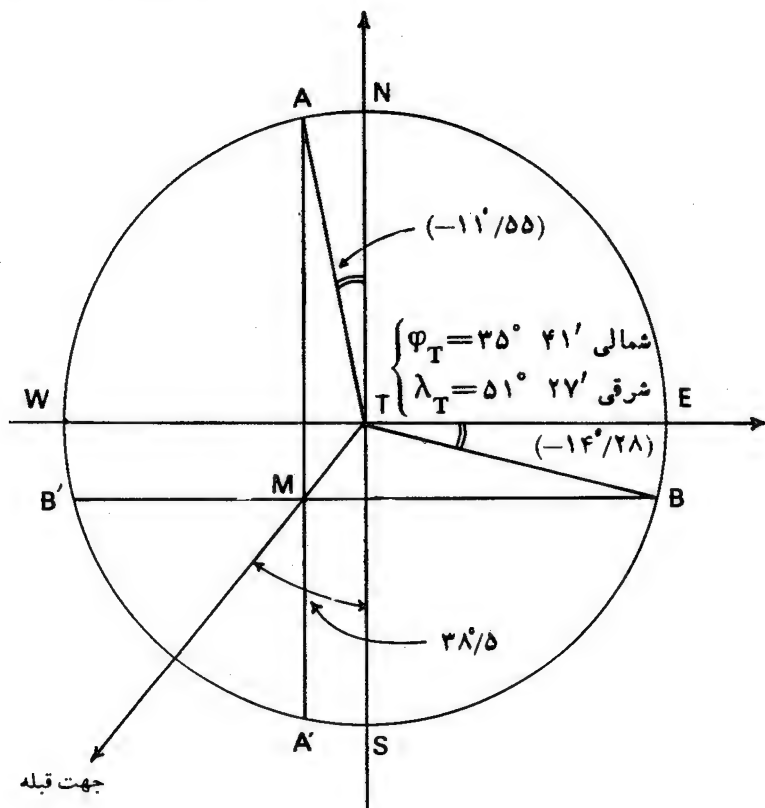
شاید انجام محاسبات قبلی در مواردی برای همه افراد، ممکن نباشد. اگر چه کاربرد ماشینهای حساب الکترونیکی در سطح وسیعی توسعه یافته و دیگر نیازی به استفاده از جدول لگاریتم، برای محاسبات مثلثاتی، نیست، اما با استفاده از روش ترسیمی، می توان در بعضی نقاط به نتایج خوبی رسید. روش ترسیمی را نیز با ذکر مثالی پی می گیریم:

مثال (۲-۵) — جهت قبله در تهران، روش ترسیمی: جهت قبله را برای مقادیر مثال (۱-۵)، با استفاده از روش ترسیمی تعیین کنید.

واحد — با توجه به شکل (۳-۵)، مراحل کار به شرح زیر است:

الف — دایره ای مانند دایره NESW رسم کنید و فرض کنید که نقطه مورد نظر (T) در مرکز آن باشد. شعاع این دایره اختیاری است، اما دایره ای بزرگتر جواب دقیقتری را بدست می دهد.

ب — فرض کنید که قطر NS امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و قطر عمود بر آن در نقطه T، یعنی EW امتداد مشرق مغرب جغرافیایی باشد. یعنی نقاط E، S و W تشکیل چهار جهت اصلی را داده اند. سپس قطرهای NS و EW را بعنوان محورهای



شکل (۵-۳) — تعیین جهت قبله در نقطه‌ای در تهران با روش ترسیمی.

مختصات دستگاه مختصات دکارتی^۱ در نظر بگیرید.

ج — کمان \widehat{EB} را برابر اختلاف جبری عرضهای جغرافیایی نقاط T و M جدا کنید:

$$\widehat{EB} = \widehat{ETB} = 21^\circ/5 - 35^\circ/68 = -14^\circ/18$$

این مقدار در حقیقت فاصله زاویه‌ای^۲ بین دو مدار دو نقطه است. سپس خط BB' را موازی محور WE رسم کنید.

د- کمان \widehat{NA} را برابر اختلاف جبری طولهای جغرافیایی نقاط M و T جدا کنید:

$$\widehat{NA} = \widehat{NTA} = 39^\circ/9 - 51^\circ/45 = -11^\circ/55$$

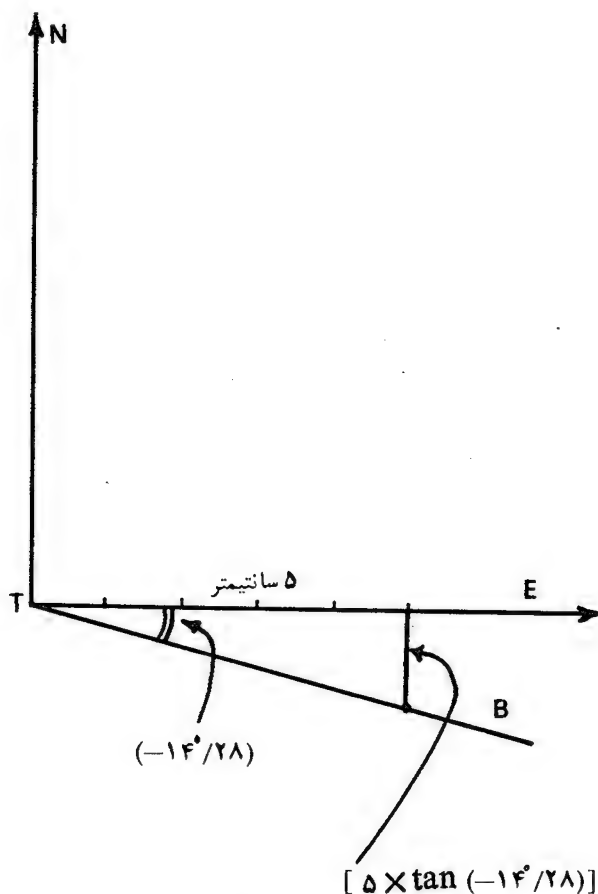
در حقیقت این مقدار برابر با فاصله زاویه ای بین نصف النهارهای دو نقطه است. سپس خط AA' را به موازات محور NS رسم کنید.

زوایای \widehat{NTA} و \widehat{ETB} را ممکن است با استفاده از یک تقاله جدا کرد. اما برای دقت بیشتر می توان تانژانت زاویه را محاسبه کرده، از طریق ترسیمی با استفاده از تانژانت زاویه، زاویه را جدا کرد. بدین ترتیب که: طول مشخصی را از مبدأ مختصات بر روی محور مورد نظر جدا کرده، آنگاه اندازه طول آن را در تانژانت زاویه مربوط ضرب می کنیم. سپس از انتهای طول جدا شده، خطی عمود بر محور، برابر با حاصل ضرب بدست آمده، در جهت مورد نظر، رسم می کنیم. از اتصال انتهای این خط به مبدا مختصات، زاویه مورد نظر رسم می گردد. این روش برای رسم زاویه $140^\circ/28$ $\widehat{ETB} =$ در شکل (۴-۵) نشان داده شده است.

ه- خط AA' ، خط BB' را در نقطه ای مانند M قطع می کند. از اتصال نقطه M ، به نقطه T جهت قبله بدست می آید. یعنی خط TM جهت قبله در نقطه مورد نظر است. زاویه \widehat{MTS} انحراف قبله نسبت به امتداد جنوب جغرافیایی را به طرف مغرب نشان می دهد.

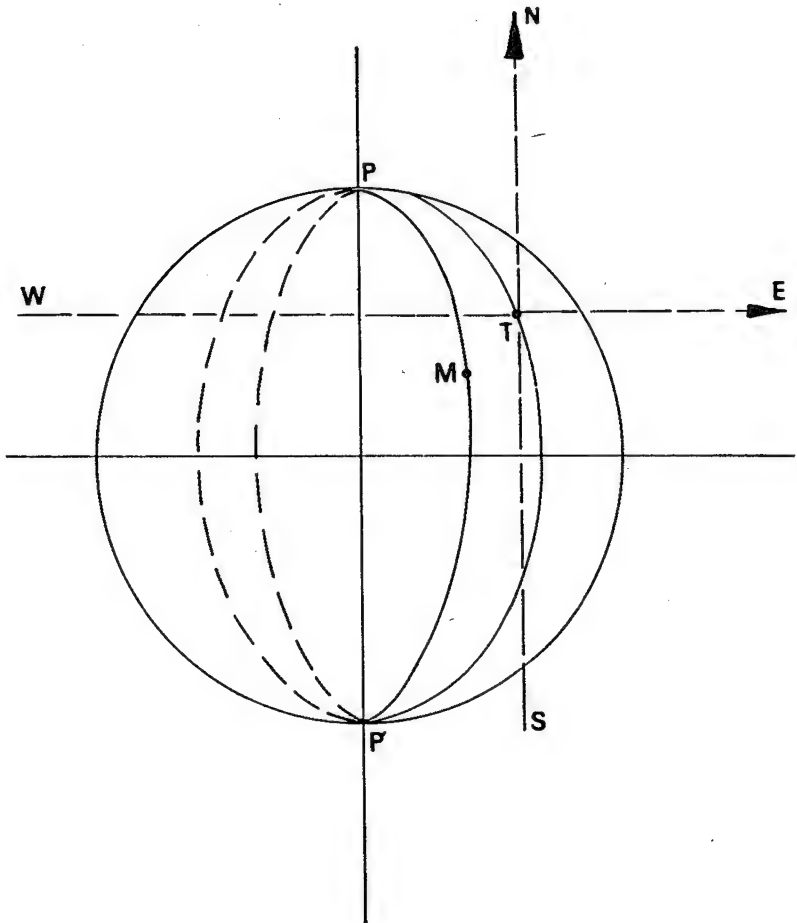
اندازه زاویه \widehat{MTS} در این مثال تقریباً برابر با $38^\circ/5$ است (اندازه گیری با تقاله) که تقریباً با نتیجه محاسبه ($38^\circ/52$) برابر است. اما چنانکه در مثالهای بعد خواهیم دید، همیشه نتیجه روش ترسیمی، با نتیجه روش محاسبه از راه مثلثات کروی، یکی نیست و گاهی میزان اختلاف خیلی زیاد است. هرچه فاصله محل مورد نظر بر روی زمین، از مکه معظمه بیشتر باشد، اختلاف نتیجه دو روش، بیشتر خواهد بود.

اساس کار این روش در شکل (۵-۵) نمایانده شده است، بدین ترتیب که: دو محور مختصات عمود بر هم در نقطه مورد نظر یعنی نقطه T ، طوری رسم شده است که محور عمودی آن در امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و محور افقی آن در امتداد مشرق-مغرب جغرافیایی محل قرار دارند. بنابراین با توجه به این دو محور مختصات، مختصات نقطه T صفر بوده و وضعیت مکه معظمه (نقطه M)، با توجه به جهتهای مربوط، از راه



شکل (۵-۴) - رسم زاویه با طریقه ترسیمی.

تفاوت جبری مختصات جغرافیایی نقطه T و نقطه M بدست می‌آیند. به بیانی دیگر، در این روش، سطح زمین بین نقاط T و M بصورت مسطح فرض می‌شود، که فرض درستی نیست. این مطلب در فواصل کمتر، ممکن است خطای زیادی را موجب نگردد. اما در فواصل زیادتر میزان خطا بیشتر بوده، نتیجه روش ترسیمی با نتیجه محاسبه از راه مثلثات کروی اختلاف بیشتری را نشان خواهد داد. فاصله محل مورد نظر از مکه معظمه را می‌توان با اختلاف طول و عرض جغرافیایی آنها بیان کرد. اگر این تفاوت زیاد باشد، میزان اختلاف نتیجه‌ها، بیشتر و اگر کم باشد کمتر خواهد شد.



شکل (۵-۵) — اساس بدست آوردن جهت قبله با روش ترسیمی.

یک محدودیت دیگر این روش اینست که فاصله زاویه ای محل مورد نظر، و مکه معظمه، از نظر طول و عرض جغرافیایی، نباید از ۹۰ درجه بیشتر باشد. برای درک بیشتر محدودیت این روش، چند محل، با وضعیتهای مختلف را بر روی زمین انتخاب می کنیم و جهت قبله را برای آنها، با دو روش مزبور، بدست آورده، نتیجه ها را مقایسه می کنیم. شهرهای مربوط، در جهت های مختلف نسبت به مکه معظمه انتخاب شده اند.

همچنین در طی یک مثال، اثر خطای یک درجه نسبت به جهت صحیح قبله را مورد بررسی قرار می دهیم.

مثال (۵-۳) — جهت قبله در بمبئی، در هندوستان: جهت قبله را در نقطه ای از بمبئی در هندوستان، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست می آوریم:

$$\varphi_B = 18^\circ 55' \text{ شمالی} \quad \lambda_B = 72^\circ 50' \text{ شرقی}$$

مختصات جغرافیایی کعبه را، مانند مثالهای قبلی را در نظر بگیرد.

راه حل — اختلاف طول و عرض جغرافیایی مکه معظمه و بمبئی به شرح زیر است:

$$\varphi_M - \varphi_B = 21^\circ / 5 - 18^\circ / 55 = +2^\circ / 58$$

$$\lambda_M - \lambda_B = 39^\circ / 9 - 72^\circ / 50 = -32^\circ / 41$$

نتیجه روش ترسیمی که در شکل (۵-۶) نشان داده شده است، جهت قبله را $(85^\circ / 5)$ درجه در مغرب امتداد شمال جغرافیایی بدست می دهد. درحالیکه نتیجه محاسبه از راه مثلثات کروی، $(79^\circ / 52)$ درجه است.

دیده می شود که کاربرد روش ترسیمی، در این مثال قابل قبول نیست و میزان خطا زیاد است. در اینگونه موارد، برای اجتناب از محاسبات، می توان روش استفاده از کره جغرافیایی را که در بخش بعدی خواهد آمد، بکار گرفت.

مثال (۵-۴) — جهت قبله در صنعاء: جهت قبله را در نقطه ای در شهر صنعاء در یمن^۳، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید:

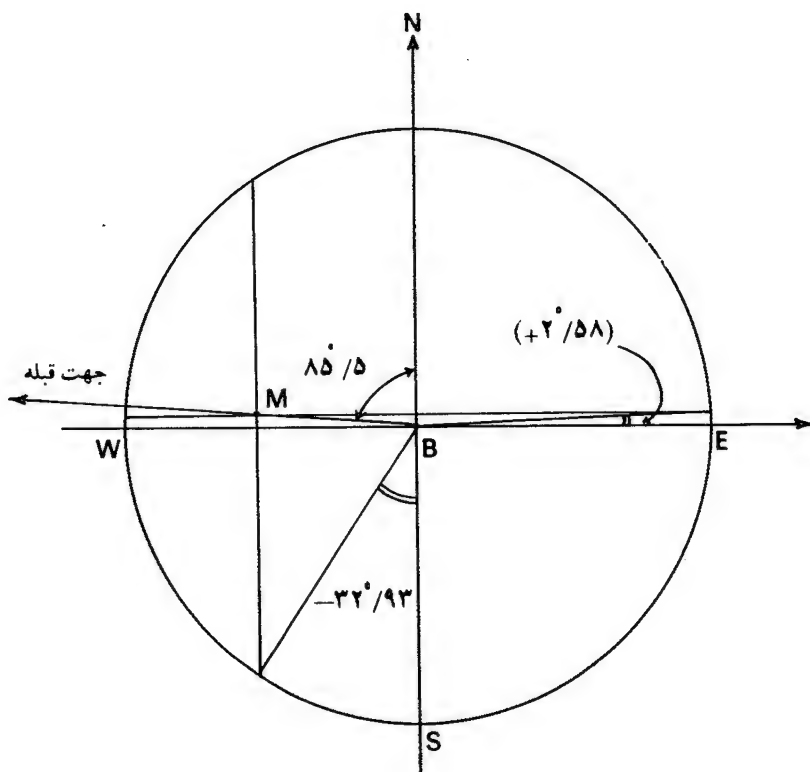
$$\varphi_S = 15^\circ 27' \text{ شمالی} \quad \lambda_S = 44^\circ 12' \text{ شرقی}$$

راه حل — اختلاف طول و عرض جغرافیایی مکه و صنعاء به شرح زیر است:

$$\varphi_M - \varphi_S = 21^\circ / 5 - 15^\circ 27' = +6^\circ / 05$$

$$\lambda_M - \lambda_S = 39^\circ / 9 - 44^\circ 12' = -4^\circ / 3$$

نتیجه روش ترسیمی، با توجه به شکل (۵-۷)، $(34^\circ / 3)$ در مغرب جنوب جغرافیایی است، درحالیکه نتیجه روش مثلثات کروی $(33^\circ / 33)$ درجه است. تفاوت دو روش در حدود یک درجه است.



شکل (۵-۶) — جهت قبله در نقطه‌ای در شهر بمبئی در هندوستان، با روش ترسیمی.

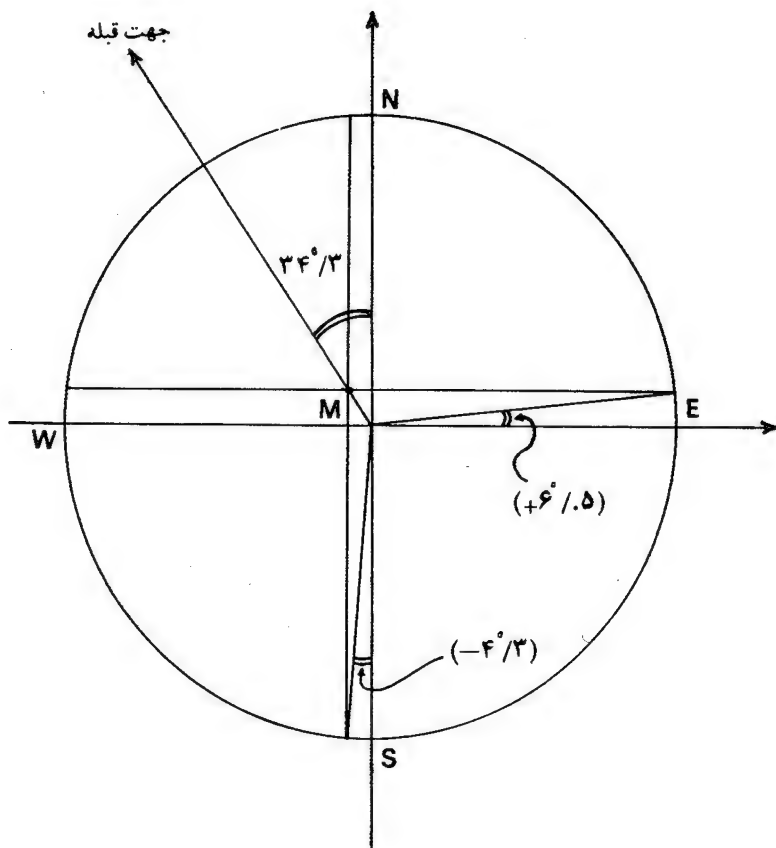
مثال (۵-۵) — جهت قبله در مانیل، در فیلیپین: جهت قبله را در نقطه‌ای از شهر مانیل^۱ در کشور فیلیپین^۲، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید:

$$\varphi_{\text{Man.}} = ۱۴^{\circ}۴۰' \text{ شمالی} \quad \lambda_{\text{Man.}} = ۱۲۱^{\circ}۳' \text{ شرقی}$$

راه حل — اختلاف طول و عرض جغرافیایی مکه و مانیل به شرح زیر است:

$$\varphi_{\text{M}} - \varphi_{\text{Man.}} = ۲۱^{\circ}/۵ - ۱۴^{\circ}۴۰' = +۶^{\circ}/۸۳$$

$$\lambda_{\text{M}} - \lambda_{\text{Man.}} = ۳۹^{\circ}/۹ - ۱۲۱^{\circ}۳' = -۸۱^{\circ}/۱۵$$

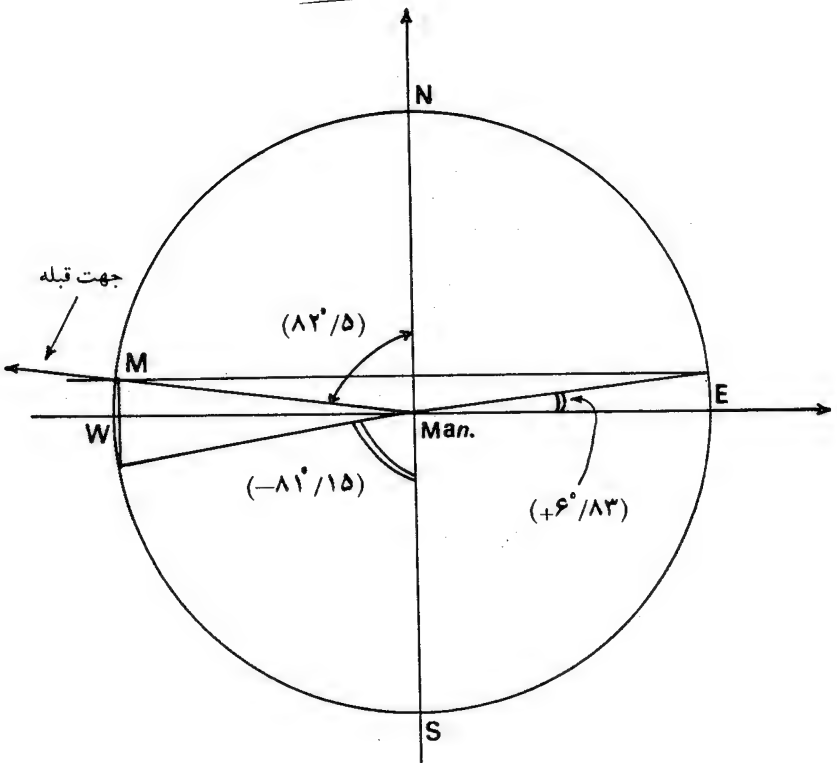


شکل (۵-۷) — جهت قبله در نقطه‌ای در صناعا در یمن، با روش ترسیمی.

نتیجه روش ترسیمی، شکل (۵-۸)، $(۸۲^{\circ}/۵)$ درجه در مغرب شمال جغرافیایی است، درحالیکه نتیجه روش مثلثات کروی $(۷۰^{\circ}/۹)$ درجه است. دیده می‌شود که تفاوت نتیجه دوروش زیاد است و روش ترسیمی را نباید بکاربرد.

مثال (۵-۶) — جهت قبله در خرطوم: جهت قبله را در نقطه‌ای از شهر خرطوم^۱ در سودان^۲، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید.

$$\varphi_K = ۱۵^{\circ}۳۱' \text{ شمالی} \quad \lambda_K = ۳۲^{\circ}۳۵' \text{ شرقی}$$



شکل (۵-۸) - جهت قبله در نقطه‌ای در مانیل در فیلیپین، با روش ترسیمی.

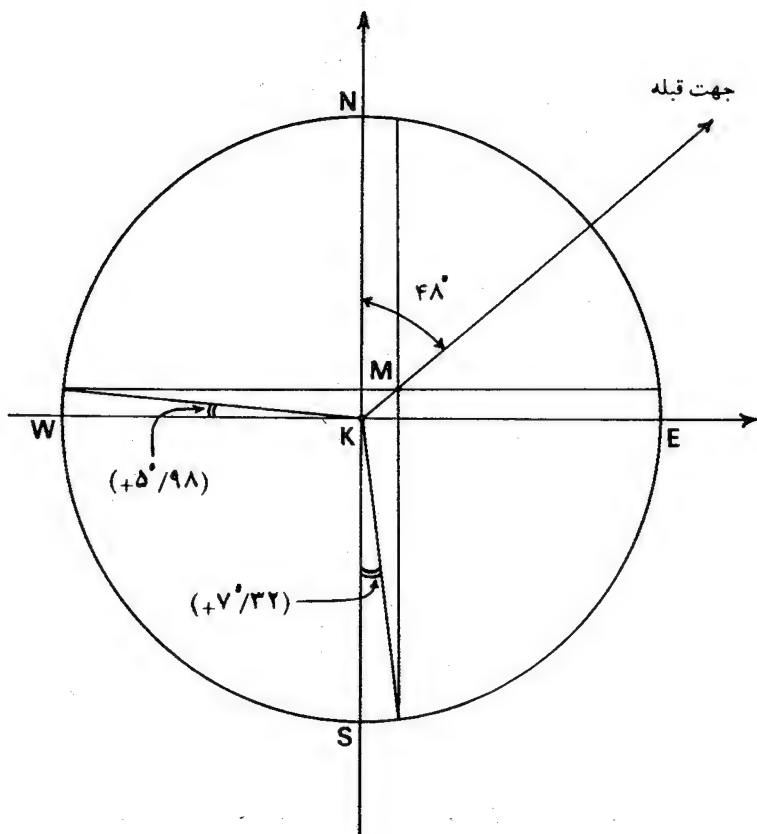
راه حل - اختلاف طول و عرض جغرافیایی مکه و خرطوم به شرح زیر است:

$$\varphi_M - \varphi_K = 21^\circ/5 - 15^\circ 31' = +5^\circ/98$$

$$\lambda_M - \lambda_K = 39^\circ/9 - 32^\circ 35' = +7^\circ/32$$

با روش ترسیمی، شکل (۵-۹)، جهت قبله ۴۸° درجه در مشرق شمال جغرافیایی است، درحالیکه نتیجه محاسبه از راه مثلثات کروی، (۴۸°/۱۱) درجه است. دیده می‌شود که اختلاف نتیجه دو روش کم است.

مثال (۵-۷) - جهت قبله در آتن: جهت قبله را در نقطه‌ای در آتن در یونان،



شکل (۵-۹) - جهت قبله در نقطه‌ای در خرطوم در سودان، با روش ترسیمی.

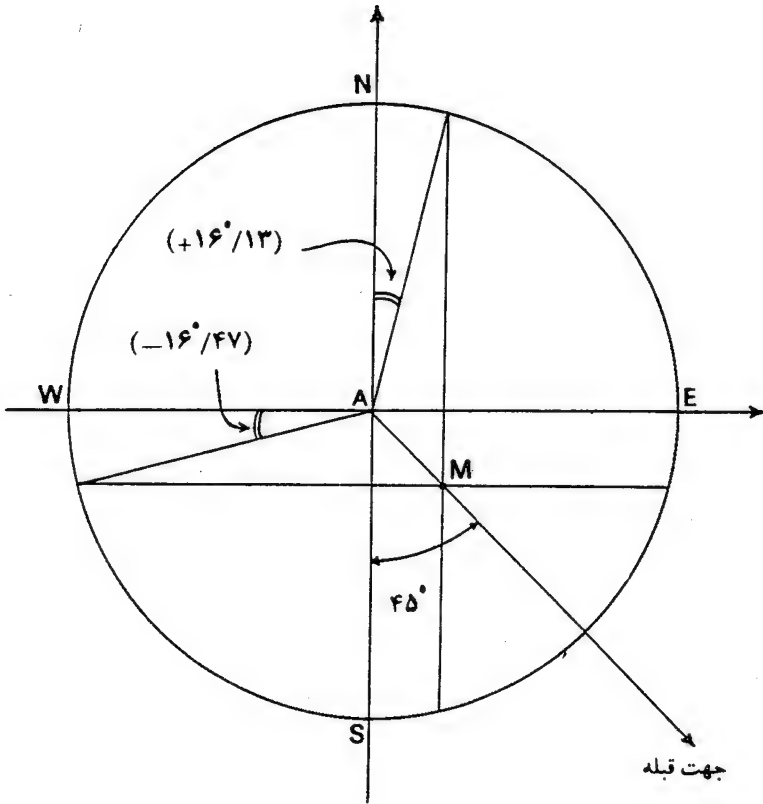
با مختصات جغرافیایی زیر بدست آورید:

$$\varphi_A = ۳۷^{\circ}۵۸' \text{ شمالی} \quad \lambda_A = ۲۳^{\circ}۴۶' \text{ شرقی}$$

راه حل -

$$\varphi_M - \varphi_A = -۱۶^{\circ}/۲۷$$

$$\lambda_M - \lambda_A = +۱۶^{\circ}/۱۳$$



شکل (۵-۱۰) — جهت قبله با روش ترسیمی در نقطه‌ای در آتن در یونان.

با روش ترسیمی، شکل (۱۰-۵)، جهت قبله (۴۵°) درجه در شرق جنوب جغرافیایی است، درحالیکه نتیجه محاسبه از راه مثلثات کروی، (۴۴°/۷۴) درجه است. دیده می‌شود که اختلاف دو نتیجه کم است.

مثال (۵-۸) — جهت قبله در استکهلم: جهت قبله را در نقطه‌ای در استکهلم^۱ در سوئد^۲، با مختصات جغرافیایی زیر بدست آورید:

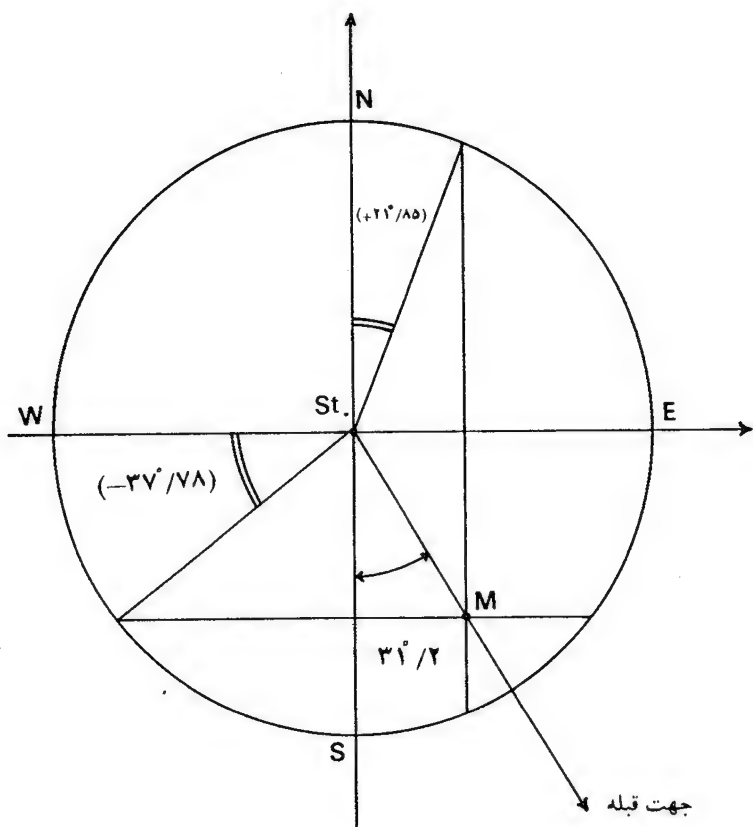
$\varphi_{St.} = 59^{\circ} 17'$ شمالی $\lambda_{St.} = 18^{\circ} 3'$ شرقی

$$\varphi_M - \varphi_{St.} = -37^\circ/78$$

راه حل -

$$\lambda_M - \lambda_{St.} = +21^\circ/85$$

با روش ترسیمی، شکل (۵-۱۱)، جهت قبله $(31^\circ/2)$ درجه در مشرق جنوب جغرافیایی است، درحالیکه نتیجه محاسبه از راه مثلثات کروی $31^\circ/95$ است که اختلاف دو نتیجه، کمتر از یک درجه است.



شکل (۵-۱۱) - جهت قبله با روش ترسیمی، در نقطه‌ای در استکهلم در سوئد.

مثال (۵-۹) - جهت قبله در سانفرانسیسکو: جهت قبله را در نقطه‌ای در

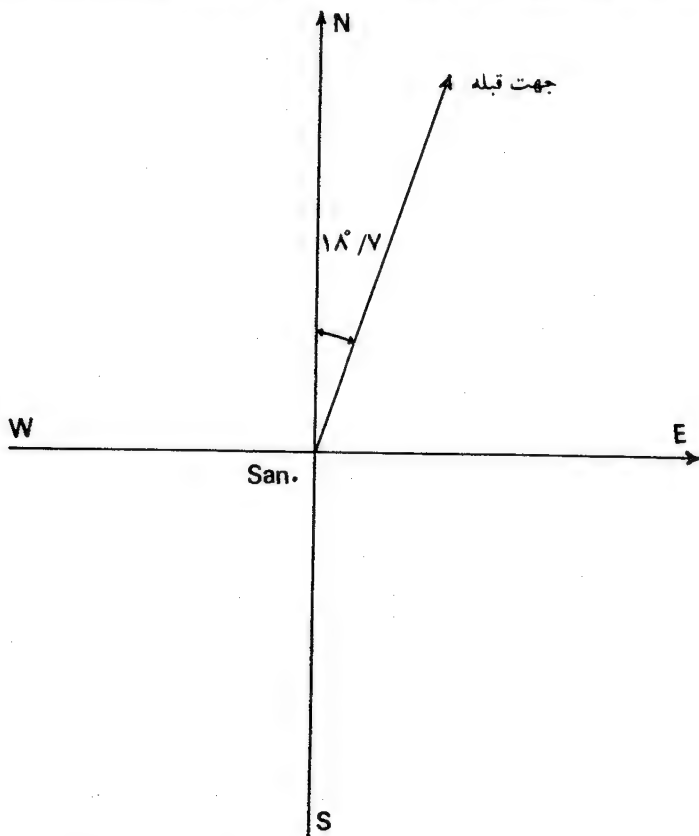
سانفرانسیسکو در آمریکا، با مختصات زیر بدست آورید.

$$\varphi_{\text{San.}} = 37^{\circ}35' \text{ شمالی} \quad \lambda_S = 122^{\circ}30' \text{ غربی}$$

$$\varphi_M - \varphi_{\text{San.}} = 21^{\circ}/5 - 37^{\circ}/58 = -16^{\circ}/08 \quad \text{راه محل -}$$

$$\lambda_M - \lambda_{\text{San.}} = +39^{\circ}/9 - (-122^{\circ}/5) = 162^{\circ}/4$$

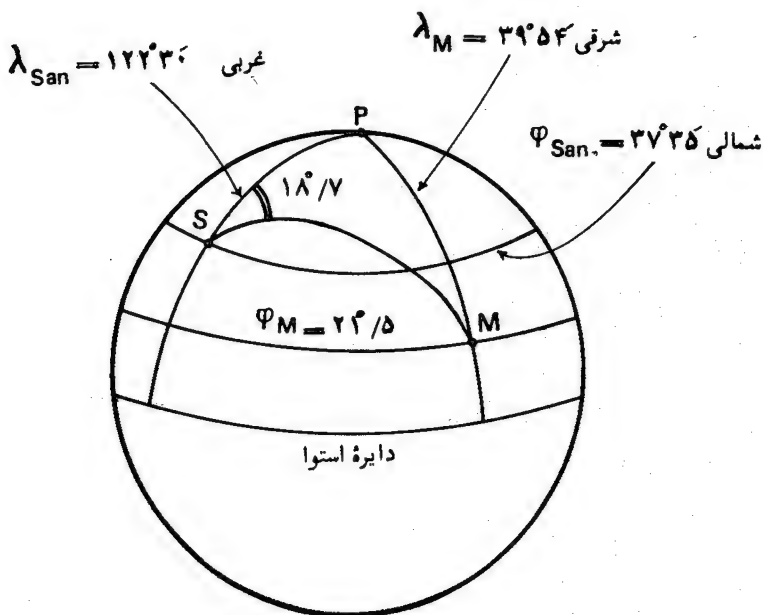
در این مثال دیده می شود که فاصله محل و مگه معظمه، از نظر طول جغرافیایی، از ۹۰ درجه بیشتر است و روش ترسیمی نمی تواند کاربرد داشته باشد. با روش محاسباتی، جهت قله در سانفرانسیسکو، $18^{\circ}/7$ در مشرق شمال جغرافیایی است، شکل (۵-۱۲).



شکل (۵-۱۲) — جهت قله در نقطه ای در سانفرانسیسکو. این جهت با روش محاسبه از راه

مثلات گروهی بدست آمده است.

جهت بدست آمده در سانفرانسیسکو و آمریکا، جالب توجه است. چه با مقایسه طول و عرض جغرافیایی سانفرانسیسکو و مکه معظمه، با توجه به اینکه مدار سانفرانسیسکو (شمالی $\varphi_{San.} = 37^{\circ}35'$) در شمال مدار مکه معظمه (شمالی $\varphi_M = 21^{\circ}5'$) قرار دارد، ممکن است تصور شود که جهت قبله در سانفرانسیسکو می‌بایست در مشرق جنوب جغرافیایی باشد و نه در مشرق شمال جغرافیایی. اما چنین تصویری درست نیست و نتیجه محاسبه، صحیح است. این اشتباه از آنجا ناشی می‌شود که با مقایسه عرضهای جغرافیایی، زمین، بصورت مسطح تصور می‌شود، و این نکته که فاصله زاویه‌ای سانفرانسیسکو و مکه معظمه در حدود $16^{\circ}4'$ است، فراموش می‌گردد. چنانکه قبلاً توضیح داده شد، برای یافتن جهت قبله یک محل، می‌بایست مسیر کوتاه‌ترین فاصله بین آن و مکه معظمه، یعنی مسیر دایره عظیمه را در نظر گرفت. شکل (۵-۱۳)، صحت نتیجه محاسبه را آشکار می‌سازد. دیده می‌شود که در این شکل، دایره عظیمه‌ای که از مکه معظمه و سانفرانسیسکو می‌گذرد، در محل سانفرانسیسکو (نقطه S) در شمال مدار آن (شمالی $\varphi = 37^{\circ}35'$) قرار می‌گیرد و بنابراین جهت قبله در آنجا در مشرق شمال



شکل (۵-۱۳) — جهت قبله در سانفرانسیسکو، نشان داده شده بر روی کره. این جهت در مشرق شمال جغرافیایی قرار دارد.

جغرافیایی است. در اینگونه موارد استفاده از روش کره جغرافیایی، که بعداً بیان می شود، نتیجه را بهتر مشخص می کند.

مثال (۵-۱۰) — جهت قبله در بوگوتا: جهت قبله را در نقطه ای در بوگوتا^۱ در کلمبیا^۲، با مختصات جغرافیایی زیر بدست آورید.

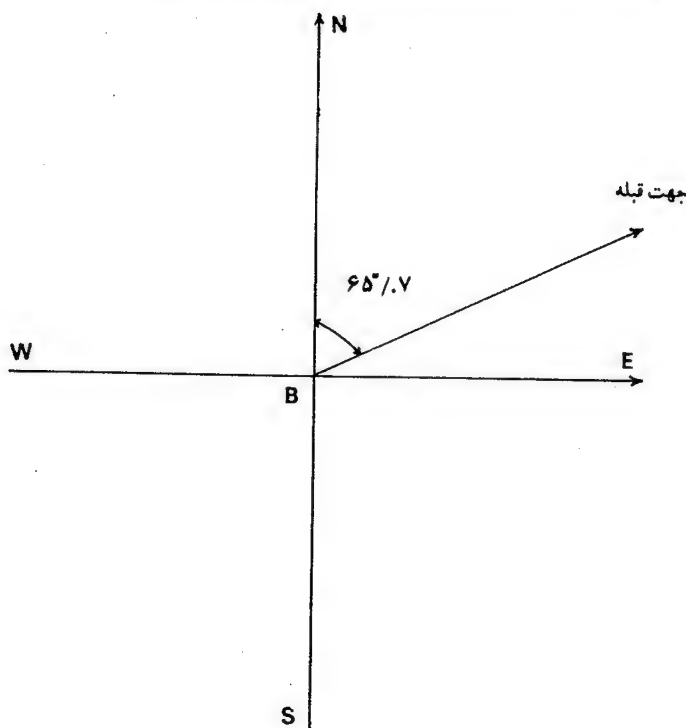
$$\varphi_B = 4^{\circ}34' \text{ شمالی} \quad \lambda_B = 74^{\circ} \text{ غربی}$$

$$\varphi_M - \varphi_B = 16^{\circ}/93$$

راه حل —

$$\lambda_M - \lambda_B = 39^{\circ}/9 - (-74^{\circ}) = 113^{\circ}/9$$

دیده می شود که فاصله نقطه مورد نظر و مکه، از نظر طول جغرافیایی بیشتر از ۹۰ درجه است و لذا نمی شود روش ترسیمی را بکار گرفت. با روش محاسبه از راه مثلثات کروی، جهت قبله (۶۵°/۰۷) در مشرق شمال جغرافیایی قرار دارد، شکل (۵-۱۴).



شکل (۵-۱۴) — جهت قبله در نقطه ای در بوگوتا، محاسبه شده از راه مثلثات کروی.

1. Bogota

2. Colombia

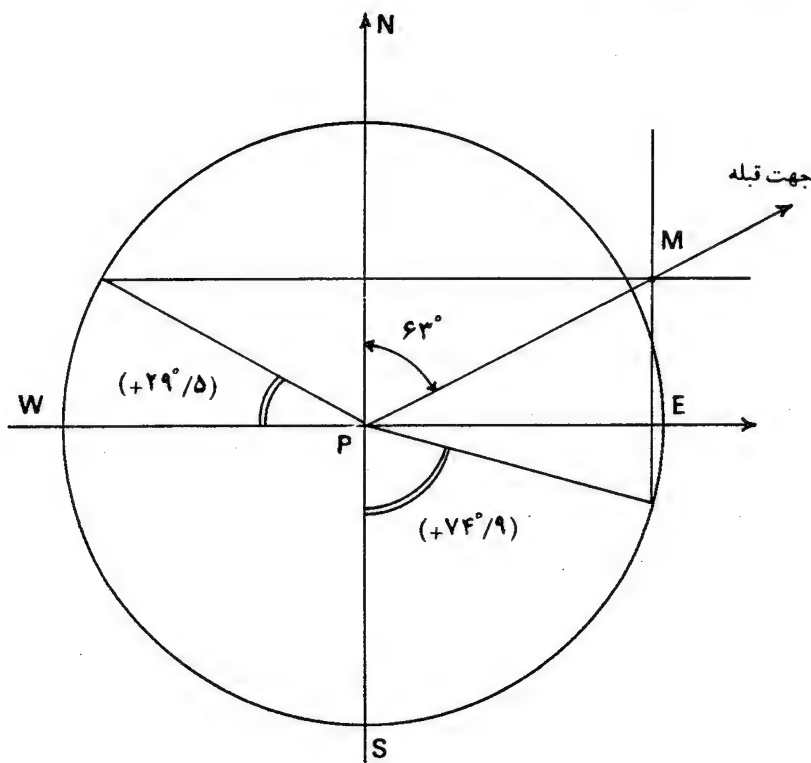
مثال (۵-۱۱) - جهت قبله در پرنامبوکو: جهت قبله را در نقطه‌ای در پرنامبوکو^۱ (رسایف) در برزیل^۲، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید:

$$\varphi_P = ۸^{\circ}۰' \text{ جنوبی} \quad \lambda_P = ۳۵^{\circ}۰' \text{ غربی}$$

$$\varphi_M - \varphi_P = ۲۱^{\circ}/۵ - (-۸^{\circ}) = ۲۹^{\circ}/۵ \quad \text{راه حل -}$$

$$\lambda_M - \lambda_P = ۳۹^{\circ}/۹ - (-۳۵^{\circ}) = ۷۴^{\circ}/۹$$

با روش ترسیمی، (شکل ۵-۱۵)، جهت قبله، (۶۳°) درجه در مشرق امتداد شمال جغرافیایی است، درحالیکه با محاسبه از راه مثلثات کروی، $(۶۶^{\circ}/۱۷)$ درجه بوده و میزان اختلاف در حدود ۳° است.



شکل (۵-۱۵) - جهت قبله در نقطه‌ای در پرنامبوکو، با روش ترسیمی.

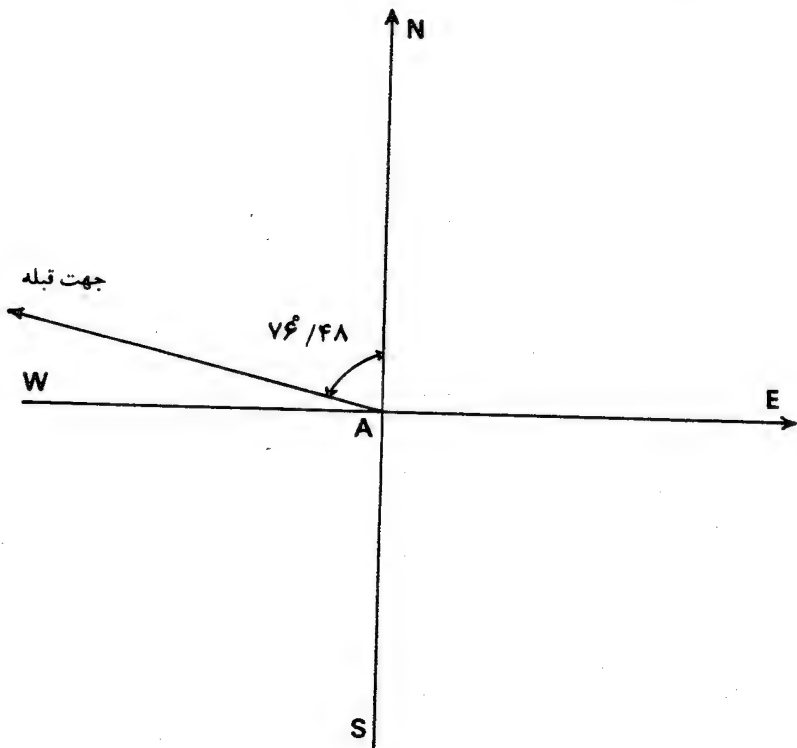
مثال (۵-۱۲) - جهت قله در آدلاید: جهت قله را در نقطه ای در آدلاید در استرالیا، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید.

$$\varphi_A = 34^{\circ}52' \text{ جنوبی} \quad \lambda_A = 138^{\circ}30' \text{ شرقی}$$

$$\varphi_M - \varphi_A = 21^{\circ}/5 - (-34^{\circ}/86) = +56^{\circ}/37 \quad \text{راه حل -}$$

$$\lambda_M - \lambda_A = 39^{\circ}/9 - 138^{\circ}/5 = -98^{\circ}/6$$

تفاوت زاویه ای بین دو نصف النهار از 90° بیشتر است و لذا روش ترسیمی را نمی توان بکار برد. اما از راه محاسبه با روش مثلثات کروی، جهت قله، $56^{\circ}/37$ در مغرب شمال جغرافیایی است، شکل (۵-۱۶).



شکل (۵-۱۶) - جهت قله در آدلاید، بدست آمده از راه محاسبه با مثلثات کروی.

1. Adelaide
2. Australia

مثال (۵-۱۳) — جهت قبله در طرابوزان: جهت قبله را در نقطه‌ای در طرابوزان^۱ در ترکیه، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید.

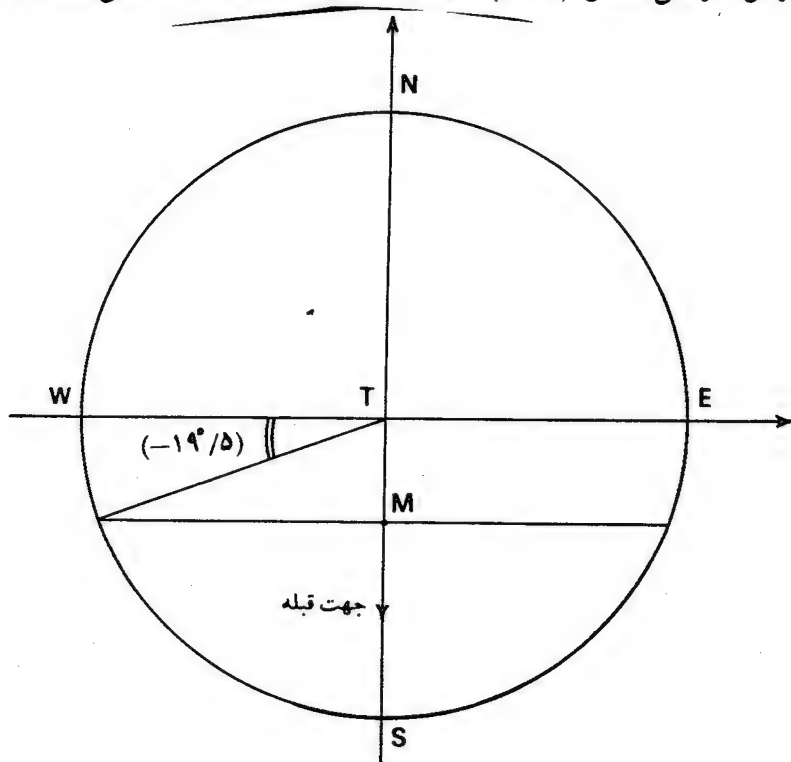
$$\varphi_T = ۴۱^{\circ}۰' \text{ شمالی} \quad \lambda_T = ۳۹^{\circ}۴۵' \text{ شرقی}$$

راه حل — در این مثال طول جغرافیایی (شرقی $\lambda_T = ۳۹^{\circ}/۷۵$) تقریباً برابر با طول جغرافیایی مکه (شرقی $\varphi_M = ۳۹^{\circ}/۹$) است. بنابراین طرابوزان و مکه تقریباً بر روی یک نصف النهار قرار دارند.

$$\lambda_M - \lambda_T = ۳۹^{\circ}/۹ - ۳۹^{\circ}/۷۵ = +۰/۱۵ \quad \text{درجه}$$

$$\varphi_M - \varphi_T = ۲۱^{\circ}/۵ - ۴۱^{\circ} = -۱۹^{\circ}/۵$$

با روش، ترسیمی، شکل (۵-۱۷)، جهت قبله در امتداد جنوب جغرافیایی است، در



شکل (۵-۱۷) — جهت قبله در نقطه‌ای در طرابوزان، با روش ترسیمی.

حالیکه با روش مثلثات کروی، ($۰/۴۱$ درجه) در مشرق جنوب جغرافیایی قرار دارد، که تقریباً نتیجه دو روش برابر است.

در حالتی که طول جغرافیایی محلی دقیقاً برابر طول جغرافیایی مکه معظمه باشد، امتداد قبله در آنجا بر امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل خواهد افتاد. چنانکه محل مورد نظر، در شمال مکه واقع باشد، جهت قبله در امتداد جنوب جغرافیایی و اگر محل در جنوب مکه قرار گرفته باشد، جهت قبله، در امتداد شمال جغرافیایی قرار خواهد داشت. علت این امر، از آنجا ناشی می شود که در چنین حالتی، دایره عظیمه ای که از محل مورد نظر و مکه معظمه گذرمی کند بر دایره نصف النهار محل منطبق می گردد.

این مطلب برای مناطق واقع بر نصف النهار (غربی $۱۴۰^{\circ}۶' = \lambda$) نیز صادق است. این نصف النهار مکمل درجه ای نصف النهار مکه است ($۱۸۰^{\circ} - ۳۹^{\circ}۵۴' = ۱۴۰^{\circ}۶'$) که در اقیانوس آرام قرار داشته و از منتهی الیه شمال غربی کشور کانادا می گذرد. جهت قبله برای مناطق واقع بر نصف النهار ۱۴۰ درجه و ۶ دقیقه غربی بر امتداد شمال و جنوب جغرافیایی منطبق است. برای نقاط واقع بر این نصف النهار که در شمال مدار ($۲۱^{\circ}/۵$ جنوبی) قرار دارند، جهت قبله در امتداد شمال جغرافیایی، و برای نقاطی که در جنوب این مدار واقع شده اند، جهت قبله در امتداد جنوب جغرافیایی است.

مثال (۵-۱۴) — جهت قبله در هانویی: جهت قبله را در نقطه ای در هانویی^۲ در ویتنام^۳، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید.

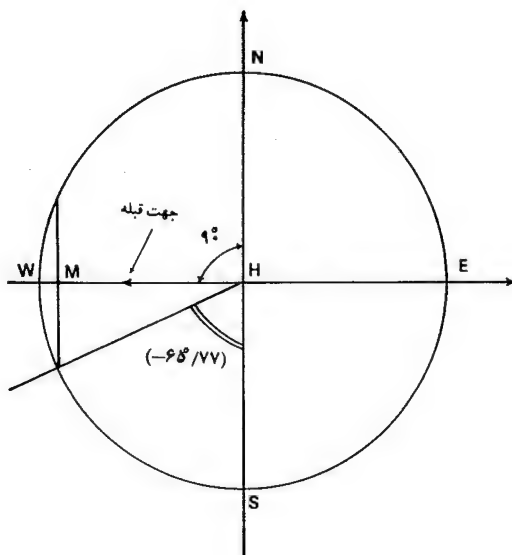
$$\varphi_H = ۲۱^{\circ}۵' \text{ شمالی} \quad \lambda_H = ۱۰۵^{\circ}۴۰' \text{ شرقی}$$

راه حل — عرض جغرافیایی این نقطه تقریباً برابر با عرض جغرافیایی مکه است:

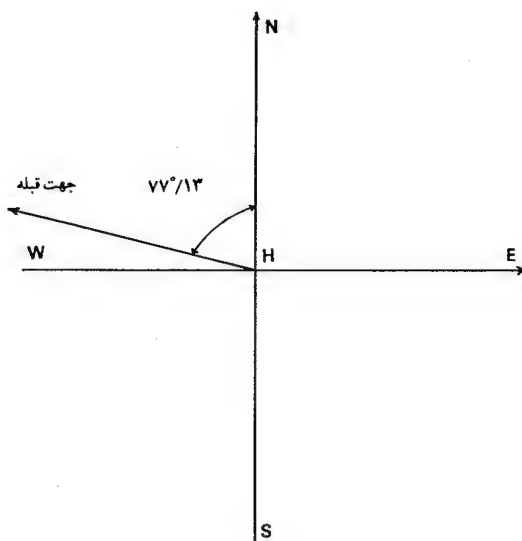
$$\varphi_M - \varphi_H = ۲۱^{\circ}/۵ - ۲۱^{\circ}/۰۸۳ = ۰/۴۱۷ \text{ درجه}$$

$$\lambda_M - \lambda_H = ۳۹^{\circ}/۹ - ۱۰۵^{\circ}/۴۷ = -۶۵^{\circ}/۷۷$$

با روش ترسیمی، شکل (۵-۱۸)، جهت قبله در امتداد مغرب جغرافیایی است، در حالیکه با روش محاسبه با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، ($۷۷^{\circ}/۱۳$) در مغرب شمال جغرافیایی است، شکل (۵-۱۹). بنابراین اختلاف نتیجه دو روش، بسیار زیاد است و روش ترسیمی قابل قبول نیست.



شکل (۵-۱۸) - جهت قبله در نقطه‌ای در هانوئی، با روش ترسیمی.



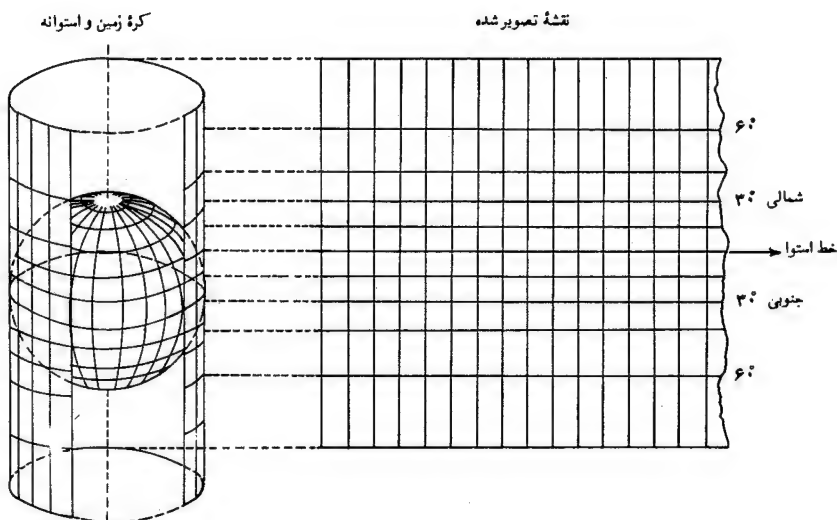
شکل (۵-۱۹) - جهت قبله در هانوئی، بدست آمده از راه محاسبه با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی.

برای درک بهتر علت زیادی اختلاف نتیجه دو روش، به مثالهای (۴-۳) و (۴-۴) در فصل چهارم برمی گردیم. این مثالها قبلاً به منظور استفاده در همین قسمت داده شده اند. مختصات نقاط مذکور در آن دو مثال، تقریباً برابر با مختصات جغرافیایی این مثال اند. در آن دو مثال، کوتاهترین فاصله بین دو نقطه، محاسبه شد که در امتداد دایره عظیمه ای که از آنها می گذرد، قرار داشت و مسیر مدار مشترک دو نقطه دارای طول بیشتری است. همچنین در مثال (۴-۵) دیدیم که بیشترین فاصله نصف النهاری دو مسیر (مسیر دایره عظیمه و مسیر مدار مشترک) در حدود ۴۰۰ کیلومتر است. مسیر مدار مشترک، همان جهت شرقی غربی را نشان می دهد که نتیجه روش ترسیمی است. لذا با توجه به این نکات، بعلت بعد مسافت هانویی و مکه معظمه که تقریباً بر روی یک مدار مشترک ($\varphi = 21^\circ 5'$) قرار دارند، نتیجه روش ترسیمی، صحیح نیست.

این مطلب برای تمام مکانهای دیگری که بر روی مدار مکه معظمه واقع اند نیز صحت دارد و در این گونه موارد جهت قبله در امتداد مدار مشترک و یا خط شرقی غربی قرار نداشته، بلکه می بایست با روش محاسبه از راه مثلثات کروی در امتداد دایره عظیمه مربوط، محاسبه گردد. البته اگر محل مورد نظر بر روی مدار مکه معظمه، در نزدیکی مکه قرار داشته باشد و یا فاصله زاویه ای مربوط به طولهای جغرافیایی آنها کم باشد، در این صورت، جهت قبله به امتداد خط شرقی غربی نزدیکتر خواهد شد.

ممکن است بعضی از نقشه های جغرافیایی که در آنها مکه معظمه در مغرب هانویی قرار دارد، این نتیجه را بدست دهد که جهت قبله، در هانویی در سمت مغرب است. این اشتباه، بعلت سیستم تصویر نقشه است. نقشه هایی که با دستگاه تصویر استوانه ای و یا مرکاتور کشیده می شوند، موجب این اشتباه، می گردند. در این روش تصویر، کره زمین را در امتداد دایره استوا، درون استوانه ای محاس می کنند و عمل تصویر از مرکز زمین بر روی استوانه، صورت می پذیرد، سپس استوانه تصویر در امتداد یکی از یالها بریده و بصورت یک نقشه مسطح نمایانده می شود، شکل (۲۰-۵).

در این روش تصویر، دایره استوا بصورت خطی مستقیم و افقی در وسط نقشه درمی آید و مدارات نیز بصورت خطوط مستقیم و موازی بصورتی نمایانده می شوند که هرچه از خط استوا دورتر می شوند بر فاصله آنها از یکدیگر افزوده می گردد و نصف النهارها نیز بصورت خطوطی موازی و با فاصله مساوی، عمود بر خط استوا نشان داده می شوند.



شکل (۲۰-۵) — سیستم تصویر مرکاتور و یا استوانه‌ای.

مناطق که پیرامون دایره استوا قرار دارند، پس از تصویر، شکل واقعی خود را تا اندازه‌ای حفظ می‌کنند و هرچه از مناطق استوایی دور شویم، شکل تصویر شده، از شکل واقعی آن بر روی کره زمین فاصله می‌گیرد، تا جایی که دو قطب زمین که در بی‌نهایت تصویر شده‌اند بکلی شکل واقعی خود را از دست داده، بصورت خطی مستقیم درمی‌آیند.

در مقایسه این سیستم تصویر با کره جغرافیایی که نمودار شکل واقعی زمین است، کافی است کوتاهترین فاصله بین توکیو و نیویورک را در نظر بگیریم. کوتاهترین فاصله بین این دو شهر از نزدیکیهای قطب شمال عبور می‌کند، درحالی‌که بر روی نقشه‌های جهان نمای مسطح که با روش استوانه‌ای تصویر شده‌اند، راه مزبور تقریباً مسیری شرقی- غربی و به موازات خط استواست.

با این توضیحات مشاهده می‌شود که اساس سیستم تصویر استوانه‌ای بر این نکته متکی است که خطوط مدارات (خطوط شرقی غربی) و نصف‌النهارات (خطوط شمالی جنوبی) بصورت خطوط مستقیم و عمود بر هم رسم می‌شوند. لذا دو محل با

عرضهای جغرافیایی برابر بر امتداد خط شرقی غربی قرار می گیرند. به همین علت هانویی و مکه معظمه در چنین نقشه هایی بر امتداد خط شرقی غربی (مدار مشترک آنها) قرار دارند و دیدیم که کوتاهترین فاصله بین آنها در این امتداد نبوده و بلکه در امتداد دایره عظیمه ای است که از آنها عبور می کند. بنابراین جهت قبله در نقطه مربوط، در هانویی در امتداد خط شرقی غربی نبوده و با توجه به نتیجه محاسبه ($۷۷^{\circ}/۱۳$) در مغرب شمال جغرافیایی و یا ($۲۲^{\circ}/۸۷$) در شمال امتداد مغرب جغرافیایی واقع است.

با توجه به مثالهای داده شده، بسادگی می توان دریافت که روش ترسیمی، همیشه نتیجه درستی را بدست نمی دهد و فقط در موارد خاصی که فاصله محل مورد نظر و یا فاصله زاویه ای مربوط به طول و عرض جغرافیایی آن از مکه معظمه، نسبتاً زیاد نباشد، می تواند کاربرد، داشته باشد.

همچنین در این مثالها، اختلاف نتیجه دو روش با درجه، بیان می شد، در بخش بعدی میزان خطایی که یک درجه اشتباه در جهت قبله می تواند بوجود آورد، مورد بحث قرار می گیرد:

۳-۵. خطای ناشی از اشتباه یک درجه در جهت قبله

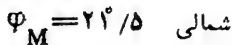
تا اینجاى مطلب، چگونگی بدست آوردن جهت قبله از راه محاسبه و ترسیم را دیدیم و همچنین چگونگی برابری نتیجه دو روش، ملاحظه شد. در طی مثال بعدی، میزان خطای یک درجه در جهت قبله مورد بررسی قرار می گیرد:

مثال (۵-۱۵) — اشتباه یک درجه در جهت قبله: اگر جهت قبله در نقطه ای در تهران با مختصات جغرافیایی زیر، یک درجه اشتباه باشد، اثر آن چیست؟

$$\varphi_T = 35^{\circ}41' \text{ شمالی} \quad \lambda_T = 51^{\circ}27' \text{ شرقی}$$

راه حل — در شکل (۵-۲۱)، نقطه M نمایانگر محل مکه معظمه و نقطه T نمایانگر تهران است. کمان MT قسمتی از دایره عظیمه ای است که از این دو نقطه می گذرد. فرض می کنیم که جهت امتداد کمان MT، جهت صحیح قبله در تهران باشد و جهت کمان MT به سوی نقطه ای مانند M' در نزدیکی مکه معظمه باشد، بصورتی

که زاویه $\widehat{MTM'} = p$ برابر یک درجه بوده، و $\widehat{TMM'} = 90^{\circ}$ باشد. در اینصورت اگر اندازه کمان MM' در مثلث کروی قائم الزاویه MMT محاسبه شود، جواب مسئله بدست می آید.



شکل (۵-۲۱) — اثر خطای یک درجه در جهت قبله تهران.

در مثلث کروی PMT ، می‌توانیم رابطه زیر را بنویسیم:

$$\cos P = \frac{\cos p - \cos t \cos m}{\sin t \sin m}$$

$$P = \lambda_T - \lambda_M = 51^\circ/45 - 39^\circ/9 = 11^\circ/55$$

$$m = 90^\circ - \varphi_T = 90^\circ - (35^\circ 41') = 54^\circ / 316667$$

$$t = 90^\circ - \varphi_M = 90^\circ - 21^\circ/\Delta = 69^\circ/\Delta$$

$$\cos(11^\circ/55) = \frac{\cos p - \cos(68^\circ/5) \cos(54^\circ/396667)}{\sin(68^\circ/5) \sin(54^\circ/396667)}$$

$$\cos p = 0.954213$$

$$p = 17^\circ/405235$$

در مثلث کروی قائم الزاویه MMT' با استفاده از روابط نیپر خواهیم داشت:

$$\sin \widehat{MM'} = \cos(90^\circ - \widehat{MT}) \cos(90^\circ - \widehat{MTM'})$$

$$\sin \widehat{MM'} = \cos(90^\circ - 17^\circ/405235) \cos 89^\circ$$

$$\widehat{MM'} = 0.2991134 \text{ درجه}$$

$$\widehat{MM'} \text{ طول} = \frac{\pi \times (6370) \times 0.2991134}{180}$$

$$\widehat{MM'} \text{ طول} = 33/25467 \text{ کیلومتر}$$

این بدان معنی است که چنانکه نمازگزاری در تهران، فقط با یک درجه اشتباه در امتداد قبله بایستد، او به سمت محلی در (33/25) کیلومتری مکه قرار گرفته است. به همین ترتیب می توان میزان اثر خطای یک درجه را برای محلهای دیگر محاسبه کرد. این مقدار خطا برای تهران است و میزان اثر خطا، بستگی به اندازه کمان دایره عظیمه ای که از نقطه مورد نظر و مکه معظمه می گذرد، دارد. طول کمان دایره عظیمه، بسادگی با محاسبه طول کمان (p) بدست می آید، که در مورد تهران در این مثال، طول آن (1935/07) کیلومتر است.

۴-۵. تعیین امتداد قبله، با استفاده از کره جغرافیایی

با استفاده از یک کره جغرافیایی دقیق که منقوش به دوائر مدارات و نصف النهارات باشد، می توان سمت قبله یک محل را تعیین کرد.

در مرحله اول باید دقت کره جغرافیایی را سنجید. برای این کار کافی است که کنترل کنیم که آیا مختصات جغرافیایی محل مورد نظر و مکه معظمه بر روی کره صحیح است و یا خیر. همچنین می توانیم مختصات جغرافیایی چند محل شناخته شده را که طول و عرض جغرافیایی آنها مشخص است، بر روی کره جغرافیایی، کنترل کنیم.

این بدان جهت است که بعضی از کره‌های جغرافیایی موجود، دارای دقت لازم نیستند. روش استفاده از کره جغرافیایی برای جهت‌یابی قبله، چنانکه با مهارت انجام شود، سریع بوده و احتمال اشتباه در آن، کم است. وسایل مورد لزوم در این روش یک رشته نخ نازک و محکم و یا یک صفحه کاغذ با لبه صاف و مستقیم، یک کره جغرافیایی دقیق و یک نقاله است. بعد از مطمئن شدن از دقیق بودن کره جغرافیایی، محل مکه معظمه و شهر مورد نظر را بر روی آن مشخص می‌کنیم. آنگاه نخ نازک و محکم را بین شهر مورد نظر و مکه معظمه از دوسر، محکم بر روی کره می‌کشیم. زاویه نخ، با امتداد نصف‌النهار شهر مورد نظر، جهت قبله را معین می‌کند. می‌توان زاویه را مستقیماً بر روی کره، توسط نقاله، اندازه‌گیری کرد و یا زاویه مربوط را بر روی یک صفحه کاغذ منتقل کرده، سپس آن را اندازه‌گیری نمود. نلغزیدن نخ در این روش، عامل مهمی است، بخصوص اگر فاصله شهر مورد نظر و مکه معظمه زیاد باشد، یعنی انحنای بیشتری بر روی کره داشته باشیم، نخ می‌تواند بسادگی بر روی کره، لغزیده و در نتیجه کار، تولید اشتباه کند. چه، باید توجه داشت که نخ کشیده شده بر روی کره، باید قسمتی از دایره عظیمه عبور داده شده بر شهر مورد نظر و مکه معظمه باشد و لذا لغزیدن نخ، آن را از اینحالت خارج می‌سازد و تولید اشتباه می‌کند. برای اینکه دریابیم که آیا نخ کشیده شده بر دایره عظیمه مربوط، منطبق است یا خیر، کافی است که از طرف شهر مورد نظر، امتداد نخ را با یک چشم نشانه کنیم؛ در صورتی که کمان نخ در یک راستا و یا صفحه، بصورت مستقیم دیده شود، نخ بر دایره عظیمه مربوط منطبق است.

بجای نخ، می‌توان از لبه صاف و مستقیم یک صفحه کاغذ استفاده کرد. بدین ترتیب که لبه مستقیم و صاف کاغذ را در راستای محل مورد نظر و مکه معظمه قرار داده و دوسر آن را محکم می‌کشیم. زاویه بین لبه کاغذ و دایره نصف‌النهار محل، جهت قبله را مشخص می‌کند.

این روش با وجود ساده بودن، نتایج خوبی را بدست می‌دهد. در حقیقت این طریقه، روش عملی محاسبه، با استفاده از روابط مثلثات کروی است. لذا در این روش نیز فرض بر اینست که زمین کاملاً به شکل کره باشد.

۵-۵. تعیین جهت قبله از راه سایه یک میله قائم و یا نخ یک شاقول در

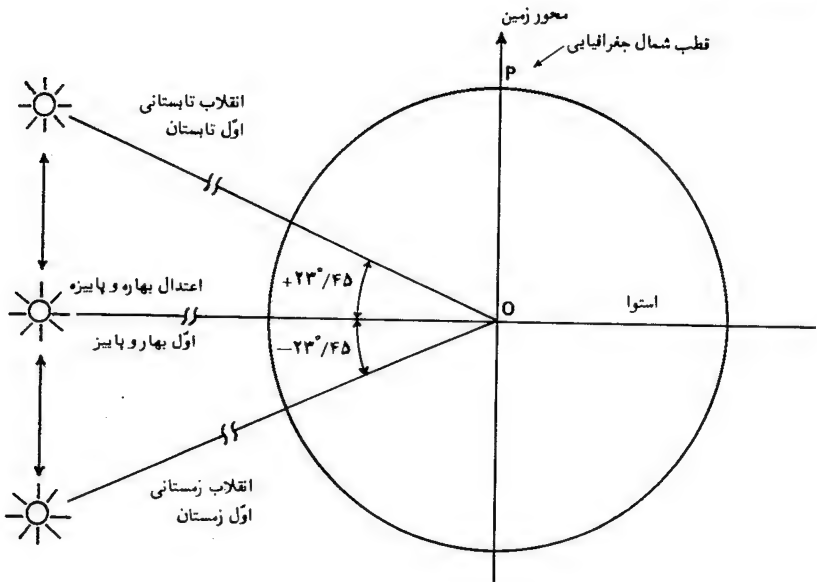
اوقات معین

این روش تعیین قبله، بر اندازه میل خورشید استوار است. میل خورشید در

فصل ششم این کتاب به تفصیل آمده است. در این بخش، ابتدا بصورت مختصر راجع به میل خورشید و تغییرات آن در طول سال توضیح داده می شود. بعلمت حرکت انتقالی زمین به دور خورشید، خطی که مرکز زمین را به مرکز خورشید وصل می کند، همیشه در سطح دایره اکلیپتیک^۱ و یا دایره البروج حرکت می کند.

میل خورشید عبارتست از زاویه ای که خط واصل بین مرکز زمین و مرکز خورشید با سطح دایره استوا، در مرکز زمین، می سازد و با حرف یونانی دلتا^۲ (δ) نمایانده می شود. چنانکه خط مزبور در شمال دایره استوا باشد علامت (δ) مثبت و اگر در جنوب آن باشد، علامت میل خورشید منفی است. مقادیر میل خورشید از ($23^\circ/45'$ -) در اوّل زمستان و یا انقلاب زمستانی^۳ تا ($23^\circ/45'$ +) در اوّل تابستان و یا انقلاب تابستانی^۴ متغیر است و در اوّل بهار و پاییز و یا اعتدال بهاری و پاییزی^۵ اندازه آن، صفر است، شکل (۵-۲۲).

بنابراین میل خورشید یک کمیت متغیر بوده و اندازه آن، حتی در طول روز هم متفاوت است.



شکل (۵-۲۲) — تغییرات میل خورشید در طول سال.

1. Ecliptic
2. Delta
3. Winter Solstice
4. Summer Solstice
5. Spring and Autumn Equinoxes

با توجه به مقادیر میل خورشید که برای روزهای سال میلادی در جدول شماره (۱-۶)، در فصل ششم، داده شده است، می‌بینیم که در روز بیست‌ونهم ماه مه (روز هشتم خرداد ماه در سال ۱۳۶۴ هجری شمسی) میل خورشید ($\delta = 21^{\circ}31'$) و در روز شانزدهم ماه ژوئیه (بیست‌وپنجم تیرماه در سال ۱۳۶۴) میل خورشید ($\delta = 21^{\circ}28'$) است. اگر عرض جغرافیایی مکه معظمه را ($\varphi = 21^{\circ}/5$) فرض کنیم، می‌بینیم که دوبار در سال، در تاریخهای مذکور در فوق، میل خورشید تقریباً برابر با عرض جغرافیایی مکه است ($\delta = \varphi = 21^{\circ}/5$). یک‌بار بهنگامی است که خورشید از نقطه اعتدال بهاری بسوی انقلاب تابستانی می‌رود و بار دیگر وقتی است که از نقطه انقلاب تابستانی، دوباره بسوی نقطه اعتدال پاییزی برمی‌گردد.

از طرفی دیگر فرمول شماره (۱-۱) در فصل اول بصورت زیر بیان شد:

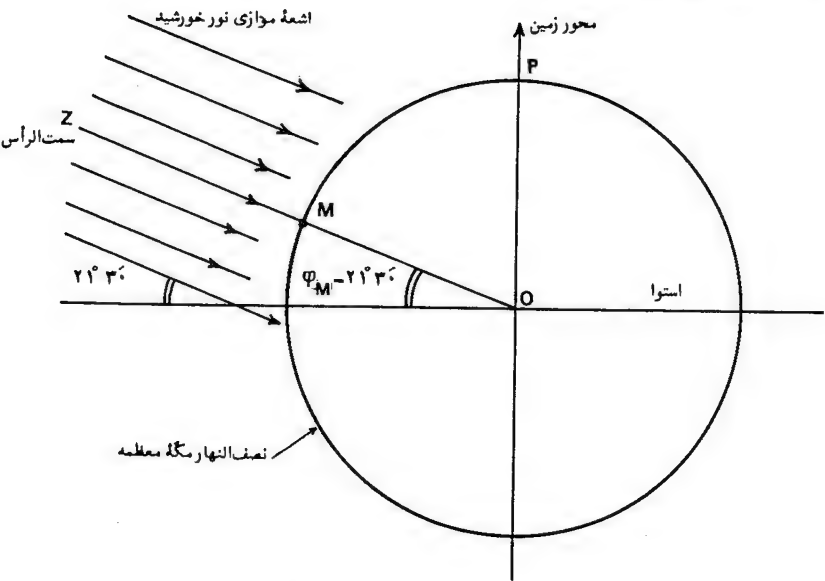
$$a = 90^{\circ} - \varphi \pm \delta$$

پارامتر (a) ارتفاع خورشید در لحظه عبور از نصف‌النهار و یا ارتفاع نصف‌النهاری آنست. بنابراین وقتی که در مکه معظمه ($\varphi_M = \delta$) باشد، در نتیجه ($a = 90^{\circ}$) است. این بدان معنی است که وقتی که میل خورشید برابر عرض جغرافیایی مکه باشد، خورشید در سمت الرأس مکه قرار خواهد داشت. بنابراین دوبار در سال، در تاریخهای مذکور در فوق، خورشید تقریباً در سمت الرأس مکه معظمه قرار می‌گیرد، شکل (۵-۲۳).

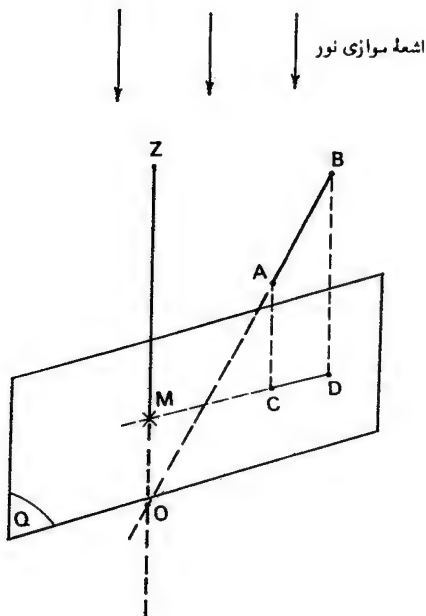
نکته قابل توجه اینکه در فرمول فوق، از اثر شکست نور در اتمسفر کره زمین صرف‌نظر شده است. البته در مورد تصحیح مربوط به شکست نور^۱ در فصل ششم توضیح داده شده است و در فرمول فوق، هنگامی که ارتفاع خورشید ۹۰ درجه است، شکست نور، دیگر اثری ندارد. در این مورد در فصل هشتم کتاب نیز بحث خواهد شد.

در ادامه مطلب، به بحث درباره چگونگی روش، می‌پردازیم. اساس کار بر این نکته مبتنی است که به علت دوری فاصله زمین از خورشید، اشعه نور خورشید بصورت موازی بر زمین می‌تابد و این امر، مستقل از محل مورد نظر بر روی کره زمین است. فرض موازی بودن اشعه خورشید در بیشتر موارد عملی، و از جمله روش مورد بحث ما، صادق است.

در شکل (۵-۲۴)، فرض کنید که خط (MZ) موازی یک‌دسته اشعه موازی نور باشد و خط (AB) بصورتی قرار گرفته باشد که امتداد آن، امتداد (MZ) را در



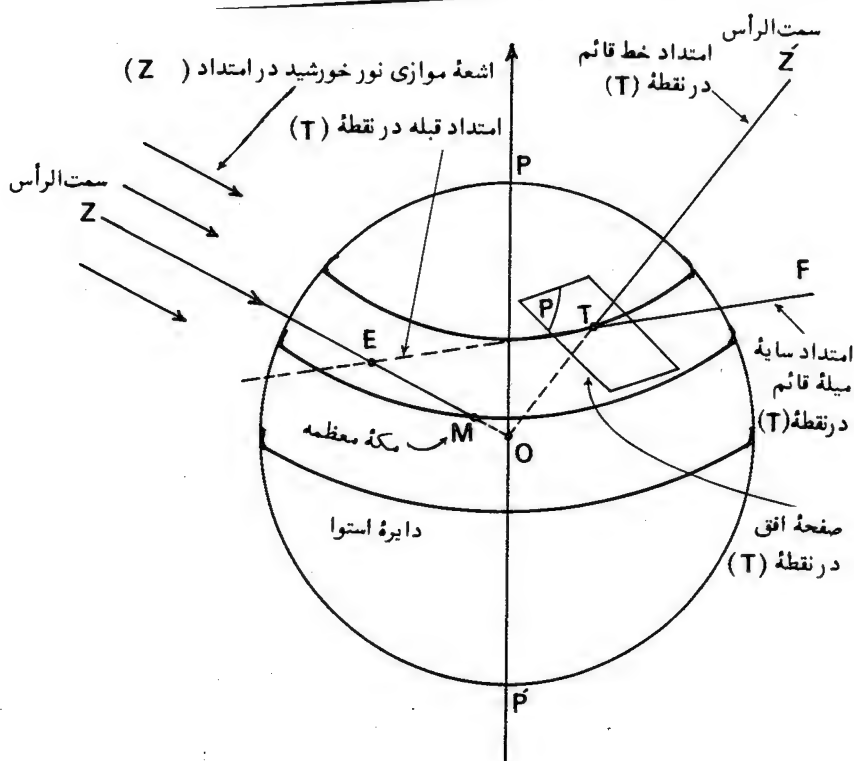
شکل (۵-۲۳) - وضعیت خورشید در سمت الرأس مکه معظمه.



شکل (۵-۲۴) - اساس روش تعیین قبله از روی امتداد سایه یک میله قائم در اوقات معین.

نقطه‌ای مانند (O) قطع کند و یا عبارتی دیگر دو خط (AB) و (MZ) در یک صفحه قرار داشته باشند. صفحه (Q) خط (MZ) را در نقطه‌ای مانند (M) قطع کرده است. حال اگر خط (CD) تصویر و یا سایه خط (AB) بر صفحه (Q) باشد، خط (CD) و (MZ) نیز در یک صفحه قرار داشته و امتداد خط (CD) خط (MZ) را در همان نقطه (M) قطع می‌کند.

حال براساس همین نکته اخیر، مطلب را بر روی کره زمین مورد بررسی قرار می دهیم. در شکل (۲۵-۵)، فرض می کنیم که نقطه (M) نمایانگر مکه معظمه بر روی کره زمین بوده و سمت الرأس مکه در نقطه ای مانند (Z) باشد. همچنین محلی دیگر بر روی کره زمین را در نقطه (T) با سمت الرأس (Z') در نظر می گیریم. چنانکه شکل زمین کاملاً کروی بوده و مرکز ثقل آن نیز در نقطه (O) مرکز کره باشد، امتداد خطوط



شکل (۵-۲۵) — روش تعیین قبله از راه تعیین امتداد سایه یک میلۀ قائم در اوقات معین، نشان داده شده بر روی سطح کره.

(MZ) و (TZ') همدیگر را در نقطه (O) قطع می کنند. حال با توجه به آنچه که در مورد شکل (۲۴-۵) بیان شد، فرض می کنیم که اشعه موازی نور خورشید در نقطه (M)، در امتداد خط (MZ) باشد، بعبارت دیگر خورشید در سمت الرأس مکه قرار گیرد. در این صورت نیز تصویر امتداد (TZ') بر روی صفحه P (صفحه افق در نقطه T) یعنی خط (TF)، خط (MZ) را در نقطه ای مانند (E) قطع خواهد کرد. در نتیجه، امتداد (TE) جهت قبله در نقطه (T) خواهد بود که جهت آن، در خلاف جهتی است که امتداد سایه میله قائم در نقطه (T) قرار می گیرد. دیده می شود که وقتی ناظری در نقطه (T) بسوی مکه معظمه می ایستد، در حقیقت بسوی نقطه ای مانند (E) قرار می گیرد و نه بسوی خود مکه معظمه. نقطه (E) محل تلاقی امتداد خط قائم در مکه معظمه و امتداد صفحه افق در نقطه (T) است. این بدان سبب است که خط (TE) خط (MZ) را در نقطه ای در بالای سر نقطه (M) قطع می کند و انحنای زمین مانع می شود که امتداد خط (ETF) از نقطه (M) بگذرد.

بنابراین جهت عکس امتداد سایه یک میله قائم و یا نخ یک شاقول در اوقات معین، در تاریخهای داده شده قبلی، جهت قبله را خواهد داد. در نتیجه، مطلب بصورت تعیین وقت قرار گرفتن خورشید در سمت الرأس مکه معظمه برحسب وقت رسمی و یا ساعت محل دیگر، درمی آید.

لحظه ای را که خورشید در سمت الرأس مکه معظمه قرار می گیرد، می توان برحسب وقت رسمی هر محلی با استفاده از فرمولهای شماره (۳-۱) و (۴-۱)، داده شده در فصل اول، محاسبه کرد. چگونگی روش محاسبه در طی چند مثال مورد بحث قرار می گیرد:

مثال (۱۶-۵)—محاسبه کنید، لحظه ای که خورشید در هشتم خردادماه ۱۳۶۴ (بیست و نهم ماه مه ۱۹۸۵) تقریباً در سمت الرأس مکه معظمه قرار می گیرد، در تهران در نقطه ای با طول جغرافیایی (شرقی $51^{\circ} 27'$)، ساعت چه وقتی را نشان می دهد.

راه حل—نصف النهار وقت استاندارد^۱ در ایران، (شرقی $52^{\circ} 5'$) است و چون طول جغرافیایی مکه معظمه (شرقی $39^{\circ} 9'$) است، بنابراین نصف النهار آن در مغرب نصف النهار وقت استاندارد در ایران، قرار دارد و در نتیجه، علامت (LA)

منفی در نظر گرفته می شود. مقدار (LA) از فرمول (۱-۴) محاسبه می شود:

$$LA = (52^\circ/5 - 39^\circ/9) \times 4 = 50/4 \text{ دقیقه}$$

اندازه تعدیل زمان (EOT) در روز بیست و نهم ماه مه از جدول (۷-۳)، برابر با (ثانیه ۴۹، دقیقه +۲) است و لحظه ای که خورشید بر نصف النهار مکه معظمه قرار می گیرد، (LAT = ۱۲) است، بنابراین با استفاده از فرمول شماره (۱-۳) داریم:

$$LAT = ST + EOT - LA$$

$$12 = ST + 2/82 - 50/4$$

$$ST = 47/58 \text{ دقیقه، } 12 \text{ ساعت}$$

$$ST = 47/58 \text{ دقیقه بعد از ظهر}$$

پس وقتی که در تهران، ساعت ۴۷/۵۸ دقیقه بعد از ظهر را در روز هشتم خرداد ماه نشان می دهد، خورشید تقریباً در سمت الرأس مکه قرار می گیرد.

چنانکه از محاسبات فوق پیداست، طول جغرافیایی محل (شرقی $51^\circ 27'$) ($\lambda_T = 51^\circ 27'$) در محاسبه، تأثیری ندارد و فقط طول جغرافیایی مکه معظمه و نصف النهار وقت رسمی، در محاسبه، وارد می شود.

زمان مربوط به روز بیست و پنجم تیرماه ۱۳۶۴ (شانزدهم ژوئیه ۱۹۸۵)، بطور قطع با آنچه که برای هشتم خردادماه محاسبه شد، تفاوت دارد که در مثال بعدی محاسبه می شود.

مثال (۵-۱۷) — محاسبه کنید که در چه ساعتی به وقت رسمی ایران در روز بیست و پنجم تیرماه ۱۳۶۴ (شانزدهم ژوئیه ۱۹۸۵ میلادی)، خورشید در سمت الرأس مکه معظمه قرار خواهد گرفت.

راه حل — اندازه تعدیل زمان در روز شانزدهم ژوئیه برابر (ثانیه ۵۲، دقیقه -۵) ($EOT = -5$) است، بنابراین:

$$12 = ST - 5/87 - 4 \times (52^\circ/5 - 39^\circ/9)$$

$$ST = 56/27 \text{ دقیقه، } 12 \text{ ساعت}$$

$$ST = 56/27 \text{ دقیقه بعد از ظهر}$$

در نتیجه در ایران در روز بیست و پنجم تیرماه در ۵۶/۲۷ دقیقه بعد از ظهر خورشید تقریباً در سمت الرأس مکه معظمه قرار خواهد داشت.

از دو مثال قبلی چنین نتیجه گیری می شود که جهت عکس امتداد سایه یک میله قائم یا نخ یک شاقول در ایران در ساعت (۴۷/۵۸) دقیقه بعد از ظهر در روز هشتم

خرداد ماه و یا در ساعت (۵۶/۲۷) دقیقه بعد از ظهر در روز بیست و پنجم تیرماه، تقریباً جهت قبله را معین می کند. البته این نتیجه، براساس مقادیر میل خورشید داده شده در جدول (۶-۱) و مقادیر تعدیل زمان در جدول (۷-۳) و فرض اینکه طول و عرض جغرافیایی کعبه (شرقی $\lambda_M = 39^\circ/9$ و شمالی $\varphi_M = 21^\circ/5$) است، می باشد. برای نتایج دقیقتر می بایست از جداول نجومی مربوط به سال مورد نظر و اندازه های دقیق مختصات جغرافیایی خانه خدا استفاده کرد.

در مثال بعدی، اوقات مربوط، برحسب وقت گرینچ (GMT) محاسبه شده است.

مثال (۵-۱۸) — محاسبه کنید که در چه ساعتی به وقت گرینچ، در روز هشتم خردادماه و بیست و پنجم تیرماه، خورشید در سمت الرأس مکه معظمه قرار خواهد گرفت.

راه حل — نصف النهار وقت استاندارد گرینچ صفر درجه و در نتیجه نصف النهار مکه (شرقی $39^\circ/9$) در مشرق آن قرار دارد و لذا علامت (LA) مثبت است. برای روز هشتم خرداد ماه خواهیم داشت:

$$12 = GMT + 2/82 + 4 \times (39^\circ/9 - 0)$$

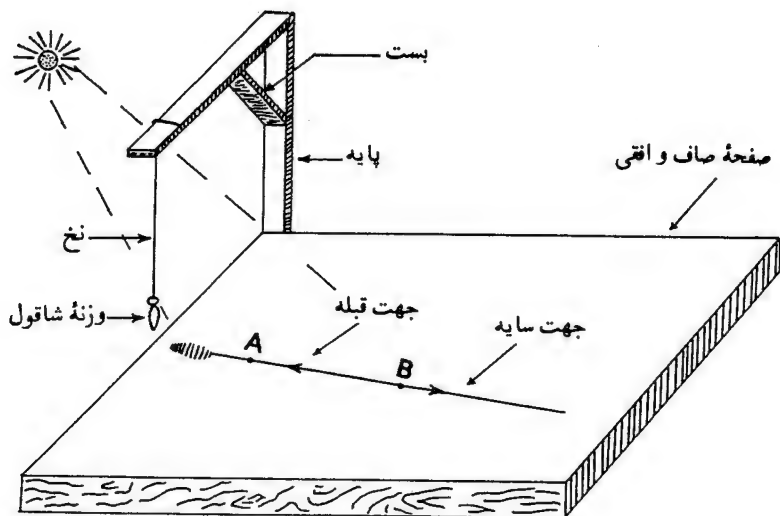
$$GMT = \text{ساعت } 9 \text{ و } (17/58) \text{ دقیقه صبح}$$

و برای روز بیست و پنجم تیرماه:

$$12 = GMT - 5/87 + 4 \times 39^\circ/9$$

$$GMT = \text{ساعت } 9 \text{ و } (26/27) \text{ دقیقه صبح}$$

به همین ترتیب می توان لحظه قرار گرفتن خورشید در سمت الرأس مکه معظمه را برای محلهای دیگر با توجه به نصف النهار وقت رسمی آنها محاسبه کرد. در مرحله بعد می توان مطابق شکل (۵-۲۶) با استفاده از یک شاقول، امتداد قبله را مشخص ساخت. برای این کار، صفحه ای کاملاً صاف و با رنگ روشن انتخاب و آن را در وضعیت کاملاً افقی قرار می دهیم. سپس یک شاقول را مطابق شکل، توسط یک پایه در کنار آن نصب می کنیم. باید توجه داشت که در هنگام کار، وزنه شاقول می بایست کاملاً بی حرکت باشد. برای این کار می توان وزنه شاقول را از نوع سنگین آن انتخاب کرد که نوساناتش زودتر گرفته شود. سپس ساعت و یا زمان سنج (کرونومتر) خود را دقیقاً با وقت رسمی منطقه میزان کرده، چند دقیقه قبل از لحظه محاسبه شده روبروی خورشید



شکل (۲۶-۵) — تعیین جهت قبله با استفاده از سایه نخ شاقول در اوقات و روزهای معین شده.

در کنار شاقول قرار می گیریم. آنگاه درست در لحظه محاسبه شده، بر روی امتداد سایه نخ شاقول، دو نقطه مانند A و B را با مداد مشخص می کنیم. سپس دو نقطه A و B را با یک خط مستقیم به همدیگر وصل می سازیم. جهت از نقطه B به نقطه A (در خلاف جهت سایه از A به B) جهت قبله را مشخص می کند.

مشخص بودن سایه، خود نکته مهمی است و رنگ صفحه افقی مربوط، در این امر دخالت دارد. سایه بر روی صفحه با رنگ روشن مانند رنگ کرم روشن، خاکستری روشن و سفید، بهتر مشخص می شود. به همین دلیل رنگ صفحه انتخابی، بهتر است از رنگهای روشن برگزیده شود.

البته باز لازم است توضیح داده شود که این روش با فرض کروی شکل بودن زمین بدست آمده است. در فصل هشتم، راجع به شکل زمین بحث می شود و آنگاه روش مورد نظر در فصل نهم بیشتر تشریح خواهد شد. لذا نتایج بدست آمده در بالا را فقط می توان در موارد محدودی بکار گرفت و اجرای این روش در سطح بین المللی نیازمند تحقیقات و مطالعات بیشتری است که در فصل نهم به پاره ای از آنها اشاره خواهد شد. همچنین از آنجاییکه همیشه نصف کره زمین در تاریکی شب و نصف دیگر در

روشنی روز و در زیر تابش خورشید قرار دارد، لذا اوقات و تاریخهای بدست آمده فقط برای نصف کره زمین کاربرد دارد. اما خوشبختانه روش را می توان در نصف دیگر کره زمین نیز بکار گرفت. البته این مطلب در اوقات و تاریخهای دیگری که خورشید در سمت القدم^۱ مگه معظمه قرار می گیرد، ممکن می شود و چگونگی آن در فصل نهم کتاب برای اولین بار آمده است.

۵-۶. تعیین جهت قبله با استفاده از قبله نامی رزم آرا

یکی از کارهای شایان توجهی که در مورد تعیین جهت قبله صورت گرفته، قبله نامی رزم آرا^۲ است که در سال ۱۳۳۱ هجری شمسی توسط تیمسار سرتیپ حسینعلی رزم آرا ابتکار شده است. رساله ای در این مورد در کتابخانه ملی موجود است:

رزم آرا، ح. رساله قبله نامی رزم آرا، چاپ ششم، شماره ثبت در کتابخانه ملی، ۱۴۶۰۷، ۱۳۳۴.

قبله نامی رزم آرا در مسافرت و موارد فوری و برای شهرهایی که در آن مشخص شده است، وسیله بسیار خوبی است. اما در مواردی که به دقت بیشتری نیاز است، می بایست نتیجه را با روشهای دقیقتر سنجید. در بخش (۴-۲) در فصل دوم در باره قطبهای شمال و جنوب مغناطیسی بحث شد و دیدیم که عقربه مغناطیسی در امتداد میدان مغناطیسی یک محل قرار می گیرد که لزوماً با امتداد شمال و جنوب جغرافیایی آن، یکی نیست. همچنین در این رابطه میل مغناطیسی تعریف شد.

در قبله نامی رزم آرا از یک عقربه مغناطیسی و یک صفحه مدرج حاوی جهت قبله در شهرهای مختلف، استفاده شده است. البته در محاسبات مربوطه، مسئله میل مغناطیسی منظور شده است. اما علاوه بر میل مغناطیسی، خود عقربه مغناطیسی می تواند تحت سایر عوامل، تولید خطا کند. ساختمانهای فلزی، معادن زیرزمینی، میدان مغناطیسی حاصل از خطوط انتقال نیرو و ماشینهای الکتریکی، از جمله عواملی هستند که می توانند جهت میدان مغناطیسی زمین را در یک محل تغییر دهند و در نتیجه عقربه مغناطیسی جهت واقعی قطبهای مغناطیسی را نشان ندهد. امروزه هم بعلت کثرت عواملی از قبیل ساختمانهای فلزی، وسایل فلزی، ماشینهای برقی و خطوط انتقال نیرو، جلوگیری از خطای مذکور در مواردی عملاً بسیار مشکل و یا غیر ممکن است. به همین دلیل است که روشهای دیگر قبله یابی را نیز می بایست در نظر داشت.

در اینجا اظهار نظر دانشگاه تهران به نقل از رساله مذکور آورده می‌شود:
دانشگاه تهران، شماره ۲۴۵۹۴، تاریخ ۳۰/۱۰/۳۲.

تیمسار سرتیپ حسین علی رزم‌آرا

پاسخ نامه مورخ ۲۵ آبان ۱۳۳۲ با قبله‌نمای مغناطیسی، که طرح آن بوسیله جنابعالی تهیه شده بود، در کمیسیون مرکب از استادان دانشکده علوم، مورد بررسی قرار گرفت. اینک مفاد گزارش کمیسیون مزبور برای استحضار جنابعالی اشعار می‌شود:
تیمسار سرتیپ رزم‌آرا، زاویه بین امتداد قبله و شمال مغناطیسی را از روی جداول و نقشه‌های موجود، با در نظر گرفتن میل مغناطیسی، طبق آخرین نقشه‌های خارجی، تعیین نموده و در تهیه قطب‌نمای مغناطیسی بنحوی دخالت داده‌اند که بجز در مواردی که وجود مواد آهنی یا معادن ترکیبات آهن سبب انحراف غیرعادی عقربه مغناطیسی می‌گردد، در نقاط دیگر، این اسباب، امتداد قبله را برای اقامه صلوة مسلمین با دقت لازم نشان می‌دهد.

البته انحراف مغناطیسی نقاط مختلف، علاوه بر تغییرات متناوب و ناچیز روزانه، بطور دائمی نیز تغییر می‌کند و تغییر عادی سالیانه برای نقاط مختلف، از چند دقیقه تجاوز نمی‌کند. بالنتیجه انحرافهای منظور شده در قبله‌نمای مغناطیسی، برای مدت زیادی که تغییر انحراف مغناطیسی از حدود چند درجه تجاوز نکند معتبر خواهد بود.
بطور خلاصه، توجه تیمسار سرتیپ رزم‌آرا به تهیه چند صفحه، متضمن انحراف امتداد قبله از امتداد شمال و جنوب مغناطیسی برای بلاد مختلف و بکار بردن این صفحات در قبله‌نمای مغناطیسی قابل تقدیر است و قبله‌نمای ایشان در نقاط دور از آهن و معادن آهن و برای مدتی که تغییر فوق‌العاده در اندازه انحراف مغناطیسی یک نقطه رخ ندهد، امتداد قبله را نشان می‌دهد.

از طرف رئیس دانشگاه-دکتر خانابا بیانی

قبلا در این فصل در بخش (۳-۵)، اثر خطای ناشی از اشتباه یک درجه در جهت قبله در نقطه‌ای در تهران، در طی مثال (۱۵-۵) آمده است.

رساله قبله‌نمای رزم‌آرا در مهرماه ۱۳۴۴ هجری شمسی توسط دارالکتب-الاسلامیه تهران تجدید چاپ شده است (چاپ هفتم). در اینجا برای روشنتر شدن مطلب، شرح چند مورد درباره قبله‌نمای رزم‌آرا، به نقل از این رساله، ضمن تشکر و سپاس از جناب رزم‌آرا، آورده می‌شود:

قبله نمای مغناطیسی

۱. مقدمه

قبله شناسی از مقدمات نماز بوده، بر هر مسلمانی، شناختن جهت کعبه از مکان خود در حضر و سفر لازم است. بدین لحاظ علمای عالیقدر هیئت و نجوم در قدیم و سنوات اخیر، از شیخ بهائی علیه الرحمه تا مرحوم سرتیپ مهندس عبدالرزاق بغاوری برای استخراج قبله، مساعی دقیقی بعمل آورده و قبله بلاد را نسبت به جهات جغرافیایی تعیین کرده اند که برای یافتن قبله هر محل، بایستی قبلاً جهت یابی کرد ولی این امر همیشه و برای هر کس بسهولت و سرعت مقدور نیست. مثلاً مسافری که به یکی از شهرهای خارج کشور یا اماکن جدیدی برسد و بخواهد فوراً نماز بخواند، نمی تواند دستور قبله یابی را بطوری که در کتب قدیمه یا تقاویم به شرحی که در پانویست آمده و صحیح است فوراً اجرا کند.

این دستور قدیمی طبق اصول علمی است ولی انجام آن برای همه کس و در همه حال و بسرعت، مقدور نیست، کسانی که هندسه ندانند، نمی توانند از آن استفاده کنند.

بنده سابقاً در موقع مسافرت بوسیله یک نقشه پنج قطعه ای عالم و قطب نمای معمولی، جهت تقریبی مکه را در هر شهر پیدا می کردم ولی تابستان ۱۳۳۱ در آمریکا بر آن شدم که قبله نمای مغناطیسی تعبیه کنم که قبله یابی را تسهیل و برای همه کس

۱. دستور قدیم قبله یابی: برای سهولت، طالبین را دستور می دهم که انحراف قبله هر شهری را که خواهند، دایره ای بر زمین مسطح رسم کنند و بر مرکز آن که وسط حقیقی است شاخص نصب نمایند تا دو فایده بخشد یکی آنکه چون سایه معدوم شود یا به منتهای کمی رسد، بحسب آفاق وقت زوال است. دیگر آنکه بر سطح دایره دو خط عمودی رسم کنند که در نقطه مرکز با هم تقاطع کنند، بطوریکه یکی از آن دو خط امتداد سایه شاخص باشد که از دو طرف تا محیط دایره رسد و خط دیگر از وسط این خط، دو طرف مرکز دایره کشیده شود تا به محیط دایره منتهی شود. پس نقطه طرف طلوع آفتاب را مشرق و نقطه مقابل آن را مغرب دانند و اگر خود بجای شاخص بایستد و نقطه مشرق را بدست راست خود قرار دهد، نقطه پیش رویش، شمال و پشت سرش جنوب است. پس بین هر دو نقطه را نود قسمت کرده خط بکشد، هر خط یک درجه می شود. آن وقت انحراف قبله آن شهر را از جدول این تقویم پیدا کرده ببیند چند درجه است، به همان اندازه از نقطه جنوب شماره کند تا خط قبله معلوم شود.

حتی بیسوادها ممکن سازد. گرچه از قدیم عوام الناس قطب‌نما را به نام قبله‌نما می‌خواندند، ولی بر اهل معرفت پوشیده نیست که قطب‌نما جهت قطبین مغناطیسی زمین را نشان می‌دهد و چون حساب قبله سابقاً نسبت به جهات جزایایی بعمل آمده بود و انحراف مغناطیسی، که بعداً توضیح داده می‌شود، در نظر گرفته نشده بود، لذا قطب‌نما، نمی‌توانست قبله را صحیحاً نشان دهد.

برای انجام منظور فوق در مدت ۱۵ ماه، قسمت زیادی از ساعات تعطیل و فراغت از کار اداری را وقف استخراج و محاسبات مربوط به قبله قریب یک‌هزار شهر کردم که اکنون نتیجه، در چند نوع قبله‌نمای مغناطیسی به معرض استفاده گذارده می‌شود.

۲. محاسبات

محاسبات این قبله‌نما شامل دو قسمت است یکی استخراج قبله نسبت به نصف‌النهار هر محل و دیگری محاسبه انحراف مغناطیسی هر مکان:

الف— استخراج را به طرق متعددی می‌توان انجام داد، بوسیله دایره هندیه یا اسطرلاب و یا سمت خورشید در ۸ خرداد و ۲۲ تیر و غیره، ولی چون بحث در کلیه آنها طولانی خواهد بود، لذا دو طریقه، ذیلاً ذکر می‌شود:

۱. پس از تعیین طول و عرض جغرافیایی دقیق مکه و شهر منظور، بوسیله دستوره‌های حل مثلثات کروی، جهت قبله تعیین می‌شود. این طریقه، خیلی دقیق است و می‌توان، درجه‌ها، دقیقه‌ها و ثانیه‌ها را نیز تعیین کرد، ولی محتاج به محاسبات طولانی و استعمال لگاریتم است و وقت زیادی می‌گیرد و برای اشخاص غیر ورزیده، احتمال اشتباهات کلی می‌رود و بایستی بازنگری کرد.

البته امروزه با دسترسی به ماشینهای دقیق حساب الکترونیکی، مشکل محاسبات طولانی و استعمال لگاریتم تا حد زیادی حل شده است. (مؤلف)

۲. اندازه‌گیری جهت مکه روی کره: این طریقه چنانچه با مهارت انجام شود سریع بوده، احتمال اشتباهات کمتری می‌رود و دقت آن در حدود نیم درجه است. برای ساختن قبله‌نمای مغناطیسی، دقت طریقه دوم کافی است معهذا با نتیجه طریقه اول و محاسبات استخراج کنندگان سابق، تطبیق شده است.

ب— محاسبه انحراف مغناطیسی هر مکان: چون منظور بنده استفاده از عقربه مغناطیسی بود، لذا لازم گردید که انحراف مغناطیسی یعنی تفاوت بین شمال جغرافیایی

و شمال مغناطیسی هر شهر تعیین شود.

از آنجاییکه قطبین جغرافیایی زمین بر قطبین مغناطیسی آن منطبق نیست، مثلاً قطب شمال مغناطیسی متجاوز از یک هزار میل، با قطب شمال جغرافیایی فاصله دارد و محل فعلی آن تقریباً در ۷۳ درجه عرض شمالی و صد درجه طول غربی گرینیچ واقع شده، در نتیجه در نقاط مختلف زمین انحرافات، بمقدار صفر تا ۱۸۰ درجه شرقی یا غربی بین دو جهت جغرافیایی و مغناطیسی موجود است، بنابراین ملاحظه میشود که این اختلاف تا چه حد در جهت یابی یا قطب نما مؤثر می باشد، لذا بنده، نتیجه استخراج قبله هر شهر را با انحراف مغناطیسی شهر مزبور، با در نظر گرفتن شرقی یا غربی بودن انحراف، ترکیب کردم که نتیجه، در ساختن این قبله نما بکار رفته است.

توضیحاً عرض می شود که انحراف مغناطیسی دارای تغییرات سالانه و حتی روزانه ای می باشد، ولی چون این تغییرات در حدود دقیقه است لذا، برای کار ما قابل توجه نیست.

۳. ساختمان قبله نما

قبله نما جعبه ای است مدور، از فلز یا پلاستیک که در قسمت فوقانی آن یک عقربه مغناطیسی و در قسمت تحتانی یک یا چند صفحه قرار دارد. روی هر صفحه، نام تعدادی از شهرها، براساس محاسبه دقیق جهت مکه و انحراف مغناطیسی محل، نوشته شده است.

قبله نمای خود کار محلی، علاوه بر عقربه مغناطیسی، عقربه دیگری به رنگ قرمز یا برنجی یا شب نما دارد. در قبله نمای با صفحه گردان، که جدیدترین نوع و خود کار برای همه جا، به حساب می آید، عقربه دیده نمی شود، خود صفحه فلزی می گردد و توجیه می شود.

صفحات قبله نما بطور کلی، دو نوع است. در صفحات اولیه که هنوز در قبله نماها نصب می شود، مکه معظمه در خارج صفحه در نظر گرفته شده، ولی در صفحات جدید محل کعبه در وسط صفحه فرض شده است، لذا با یک سرتبه توجیه صفحه به وسیله گرداندن قبله نما (یا بطور خود کار در نمونه های با صفحه گردان) خطی که جلو هر شهر رسم شده، جهت قبله آن است بطرف مرکز صفحه.

در قبله نماهایی که دارای یک صفحه هستند و نمونه های با صفحه گردان، صفحه عمومی گذارده شده که نام شهرهای مهم را دارد. غیر از صفحه عمومی، قریب

۲۰ صفحه دیگر برای کشورهای مختلف به زبان فارسی و عربی یا انگلیسی وجود دارد، صفحه مخصوص دلیل الحاج و صفحه ای با درجات، مثل صفحه قطب نما تهیه شده است.

۴. دستور قبله یابی

الف — قبله نمای با عقربه

۱. اگر داخل قبله نما، برگهای متعددی است، برگگی که نام شهر مطلوب را دارد رو قرار دهید.

۲. قبله نما را روی میز یا سطحی افقی (دور از آهن آلات و ادوات برقی) بگذارید.

۳. عقربه مغناطیسی پس از نوسان، یک نوک آن معمولا نوک سیاه یا شب نما، بسوی شمال خواهد ایستاد.

۴. بمالیمت، قبله نما را بگردانید تا شعاع شهر مطلوب، زیر نوک شمالی عقربه قرار گیرد. خط قبله که روی صفحه رسم شده، جهت مکه را نشان می دهد.

در قبله نماهای خود کار محلی، نوک سیاه عقربه، شمال، نوک سفید، جنوب و نوک اضافی — که به رنگ قرمز یا شب نما یا برنجی می باشد — بطور خود کار قبله شهرستانهایی را نشان می دهد که در صفحه قبله نما با علامت قرمز مشخص گشته یا روی جعبه آن قید شده است.

برای قبله یابی با صفحات جدید که مکه معظمه در وسط صفحه فرض شده، باید قبله نما را بطور افقی گرداند تا شمال صفحه، زیر نوک شمالی عقربه مغناطیسی قرار گیرد. در این وضعیت خطی که مجاور هر شهر، رو به مرکز کشیده شده، جهت قبله همان شهر است.

ب — نمونه های خود کار با صفحه گردان

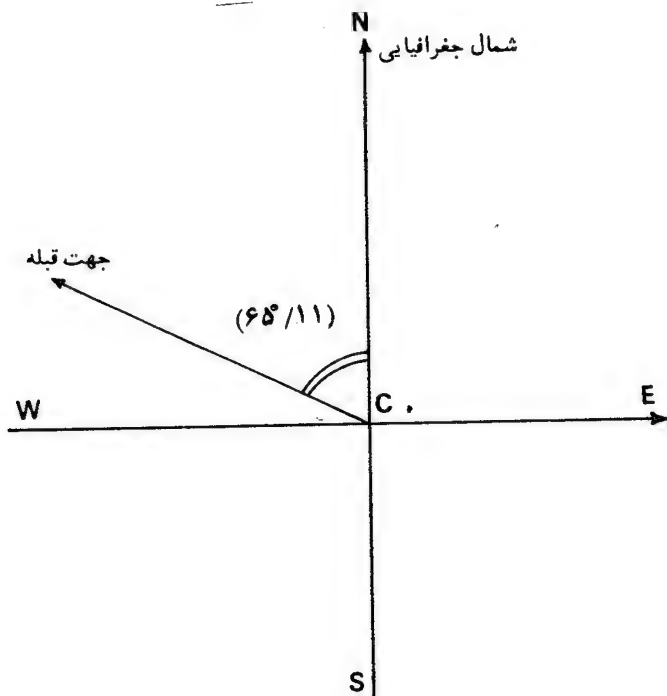
هر موقع قبله نما را در سطحی افقی (دور از آهن آلات) بگذارید، صفحه پس از قدری نوسان بی حرکت می شود و شعاع هر شهر قبله آن را بطور خود کار نشان خواهد داد.

مکه معظمه در مرکز صفحه فرض شده و محاسبات زاویه قبله هر محل، روی این فرض بعمل آمده است.

برای اشخاص بی سواد یا بخاطر سهولت قبله یابی، می توان شعاع شهر مورد نظر را بر رنگی مشخص ساخت. سمت شمال محل را علامت کوچکی روی صفحه، نشان می دهد.

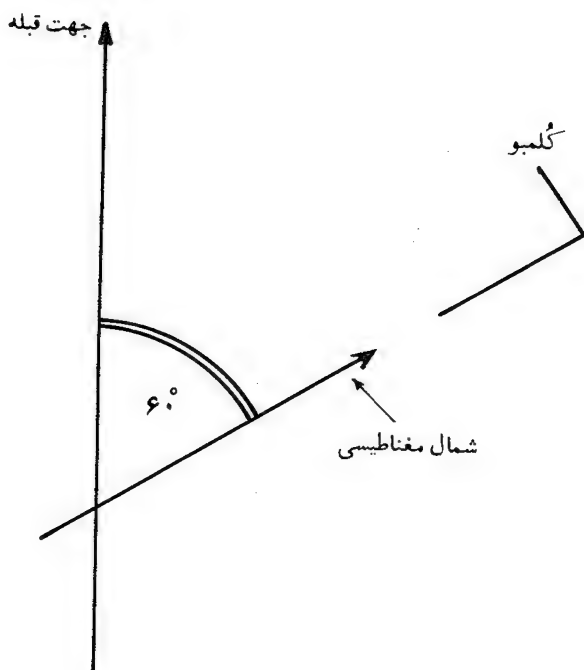
می‌کنیم. (مؤلف)

چنانکه مختصات جغرافیایی کلمبو^۱ در جزیره‌ی سری لانکا^۲ (سیلان)، $(\varphi_{Co} = 6^{\circ} 56')$ شمالی و $(\lambda_{Co} = 79^{\circ} 58')$ شرقی باشد، جهت قبله در این شهر از راه مثلثات کروی، $(65^{\circ}/11)$ در مغرب شمال جغرافیایی قرار می‌گیرد، شکل (۵-۲۸).



شکل (۵-۲۸) — جهت قبله در نقطه‌ای در کلمبو در جزیره‌ی سری لانکا، نسبت به امتداد شمال جغرافیایی از راه مثلثات کروی.

شکل (۵-۲۹)، از انتقال شکل (۵-۲۷) بدست آمده است. زاویه بین جهت قبله و امتداد شمال مغناطیسی در کلمبو در حدود 65° به طرف مغرب است. از تفاوت حاصل محاسبه و آنچه که از شکل (۵-۲۷) بدست آمده است، نتیجه می‌شود که جهت شمال مغناطیسی در کلمبو، در حدود $(5^{\circ} - 60^{\circ} - 65^{\circ})$ در مغرب شمال جغرافیایی است، عبارتی دیگر میل مغناطیسی در کلمبو در حدود 5° غربی در نظر گرفته شده



شکل (۵-۲۹) — زاویه بین جهت قبله و امتداد شمال مغناطیسی در شهر کلمبو به نقل از شکل (۵-۲۷).

است. با مراجعه به شکل (۸-۲)، در فصل دوم، دیده می‌شود که جزیره سری لانکا در جنوب شرقی هندوستان، در ناحیه‌ای با میل مغناطیسی از صفر درجه تا 10° غربی قرار دارد و فرض اینکه میل مغناطیسی کلمبو در حدود 5° غربی باشد، با توجه به اطلاعات داده شده در این شکل، تا حدی درست است. البته نقشه مربوط به سال ۱۹۶۵ است و اینکه در حال حاضر هم میل مغناطیسی کلمبو همان 5° غربی است، معلوم نمی‌باشد. این مطلب که میل مغناطیسی، سالیانه به مقدار کمی تغییر می‌کند، درست است، اما تعیین تغییرات میل مغناطیسی در کلمبو، از سال ۱۹۶۵ تا بحال — سال ۱۹۸۵ — نیازمند دسترسی به نقشه‌های مغناطیسی فعلی جهان و یا اندازه‌گیری موضعی آن، در کلمبو است.

از آنچه که آمد، معلوم می‌شود در مواردی که تعیین دقیق جهت قبله مورد نظر

است؛ مانند ایجاد ابنیه اسلامی و یا مساجد، توسل به نتایج قبله‌نمای مغناطیسی به‌تنهایی کافی نیست و می‌بایست نتایج روشهای دیگر را نیز در نظر داشت. (مؤلف)
ادامه توضیحات به نقل از رساله آقای رزم‌آرا:

تبصره ۳. در صفحات کشورها چون قبله شهرها غالباً در قسمت کوچکی از محیط دایره قرار می‌گیرد و نمی‌توان در این قسمت کوچک اسامی تعداد زیادی از شهرها را نوشت، لذا در این قسمت طبق محاسبه، یک سلسله اشعه، رسم شده که هر شعاع متعلق به یک یا چند شهر است.

مثال دوم: در هریک از شهرهای آبدان، اهواز، خرمشهر، مسجد سلیمان، شوشتر، کاشان الی دامغان چنانچه نوک سیاه عقربه، بوضعی که در شکل ۲- شکل (۵-۳۰) در این کتاب-نموده شده، قرار گیرد، در این صورت، سهم، قبله شهرهای مزبور را نشان خواهد داد.



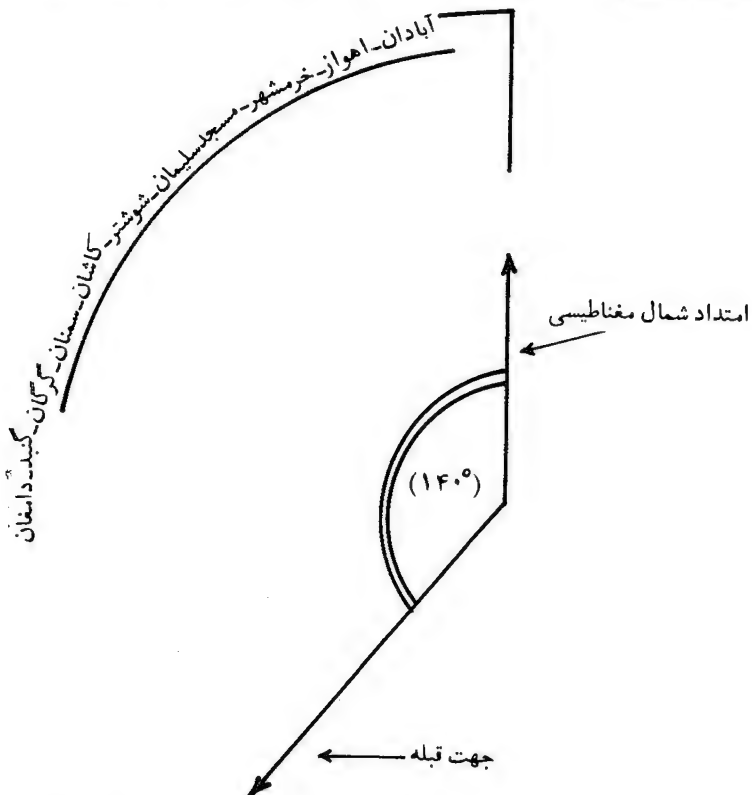
شکل (۵-۳۰) - قرار گرفتن استداد قبله چند شهر بر روی یک شعاع (این شکل از رساله آقای رزم‌آرا گرفته شده است).

تبصره ۴. قبله قراء با قبله مرکز شهرستان تفاوت محسوسی ندارد.

تبصره ۵. در صفحات جدید که مگه در مرکز آنها فرض شده، موقعی که شمال صفحه، زیر نوک شمالی عقربه قرار گیرد، خطی که مجاور هر شهر، به مرکز کشیده شده، قبله همان شهر است. لذا با دو شکل فوق (۱ و ۲)، دارای اختلاف است.

تبصره ۶. برای استفاده ییسوادها، یا برای اینکه شعاع شهری را بتوان فوراً در صفحه پیدا کرد، در قبله نماهای دارای صفحات متعدد، روی صفحه تلق حامل پایه عقبه، خط رنگینی رسم شده که موسوم است به خط نشانه. چنانچه موقع گذاردن صفحه، شعاع شهر مطلوب را زیر خط نشانه قرار دهند و در موقع بستن قبله نما هم تغییر محل ندهد، پیدا کردن شعاع، موقع قبله یابی تسهیل می شود، اشخاص ییسواد یا کسانی که چشمشان ضعیف است نیز می توانند از آن استفاده کنند.

در اینجا لازم است درباره مثال دوم هم اندکی تحقیق و بررسی کنیم (مؤلف): زاویه بین امتداد شمال مغناطیسی و جهت قبله، به نقل از شکل (۵-۳۰)، در شهرهای آبادان، اهواز، خرمشهر، مسجد سلیمان، شوشتر، کاشان، سمنان، گرگان، گنبد و دامغان، در حدود 140° به طرف مغرب است، شکل (۵-۳۱). حال بعنوان مثال در



شکل (۵-۳۱) - زاویه بین جهت قبله و امتداد شمال مغناطیسی در شهرهای آبادان، اهواز، خرمشهر الی دامغان، به نقل از شکل (۵-۳۰).

مورد سه شهر به شرح زیر نتیجه بدست آمده را بررسی می کنیم. البته در اینجا به مقادیر مختصات جغرافیایی و میل مغناطیسی که شکل (۵-۳۰) از آنها بدست آمده است، دسترسی نیست، لذا در هر مورد مختصات جغرافیایی معمول این شهرها و مقادیر میل مغناطیسی که توسط مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در سال ۱۳۴۲ هجری شمسی اندازه گیری شده، بکار رفته است:

$$\text{سمنان:} \quad \varphi_S = 35^\circ 33' \text{ شمالی} \quad \lambda_S = 53^\circ 24' \text{ شرقی}$$

جهت قبله از طریق محاسبه با فرمولهای مثلثات کروی، $136^\circ/37$ در مغرب امتداد شمال جغرافیایی است، و چون میل مغناطیسی در سمنان در سال ۱۳۴۲ هجری شمسی، $3^\circ/69$ شرقی بوده است، بنابراین جهت قبله نسبت به امتداد شمال مغناطیسی برابر است با:

$$136^\circ/37 + 3^\circ/69 = 140^\circ/06$$

که با نتیجه حاصل از شکل (۵-۳۰)، تقریباً برابر است.

$$\text{گنبد قابوس:} \quad \varphi_G = 37^\circ 15' \text{ شمالی} \quad \lambda_G = 55^\circ 9/5' \text{ شرقی}$$

جهت قبله از طریق محاسبه با فرمولهای مثلثات کروی، $135^\circ/78$ در مغرب امتداد شمال جغرافیایی است، و چون میل مغناطیسی در گنبد، $4^\circ/17$ شرقی بوده است، بنابراین جهت قبله نسبت به امتداد شمال مغناطیسی برابر است با:

$$135^\circ/78 + 4^\circ/17 = 139^\circ/95$$

که با نتیجه حاصل از شکل (۵-۳۰)، تقریباً برابر است.

$$\text{اهواز:} \quad \varphi_A = 31^\circ 29' \text{ شمالی} \quad \lambda_A = 48^\circ 42' \text{ شرقی}$$

جهت قبله از طریق محاسبه با فرمولهای مثلثات کروی، $139^\circ/67$ در مغرب امتداد شمال جغرافیایی است و چون میل مغناطیسی در اهواز $2^\circ/82$ شرقی بوده است، بنابراین جهت قبله نسبت به امتداد شمال مغناطیسی، برابر است با:

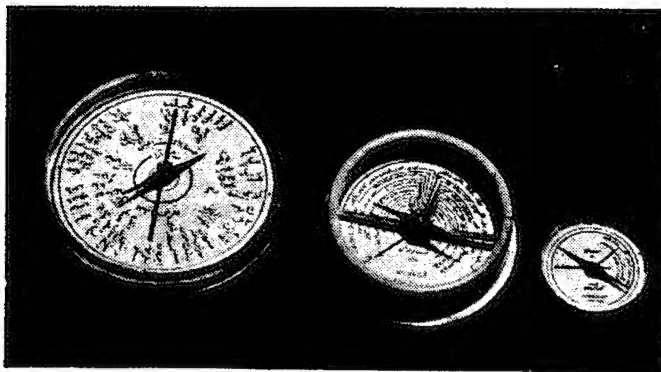
$$139^\circ/67 + 2^\circ/82 = 142^\circ/49$$

می بینیم که این نتیجه، در حدود $2^\circ/5$ با نتیجه حاصل از شکل (۵-۳۰) اختلاف دارد. حال چنانکه با استفاده از روش ارائه شده در بخش (۵-۳) و

مثال (۵-۱۵)، میزان خطای ناشی از این اختلاف را محاسبه کنیم، می بینیم که $۲/۴۹^\circ$ اختلاف، سبب می شود که ناظر، روبروی نقطه ای در حدود ۶۱ کیلومتری مکه معظمه قرار داشته باشد. اندازه کمان دایره عظیمه گذرکننده بر اهواز و مکه، در حدود $۱۲/۷^\circ$ و طول آن حدود $۱۴۱۲/۴۴$ کیلومتر است.

با توجه به آنچه که مورد بررسی قرار گرفت، چنین نتیجه می شود که برای تعیین جهت دقیق قبله، خصوصاً به منظور بنای ابنیه و مساجد، می بایست نتایج بدست آمده از قبله نمای مغناطیسی را با روشهای دقیقتر سنجید. اما در حضر و سفر، قبله نمای مغناطیسی وسیله مناسبی است، چه در اینگونه موارد، فرصتی برای دقت مورد لزوم، باقی نمی ماند. البته در اینصورت همیشه خطای ناشی از اصطکاک عقربه مغناطیسی و میدانهای مغناطیسی مزاحم، موجود است.

در شکل (۵-۳۲)، چند نمونه از قبله نمای مغناطیسی رزم آرا و در شکل (۵-۳۳) تصور چگونگی استقرار قبله نمای مغناطیسی بر روی زمین، نمایانده شده است. این شکلها، با تشکر از آقای رزم آرا، از رساله ایشان گرفته شده است.



شکل (۵-۳۲) — چند نمونه از قبله نمای رزم آرا.

۵-۷. تعیین جهت قبله در نقاط خاص

گاهی تعیین جهت قبله در نقطه ای بر روی کره زمین که در مقابل محل مکه معظمه قرار گرفته، و همچنین در نقطه قطب شمال، مورد توجه قرار می گیرد. گرچه امکان بودن، در چنین تقاطعی نادر است، اما برای فهم بهتر روشهای این فصل، در این



شکل (۵-۳۳) - تصور چگونگی استقرار قبله نمای مغناطیسی بر روی زمین. (باتشکر از آقای رزم آرا).

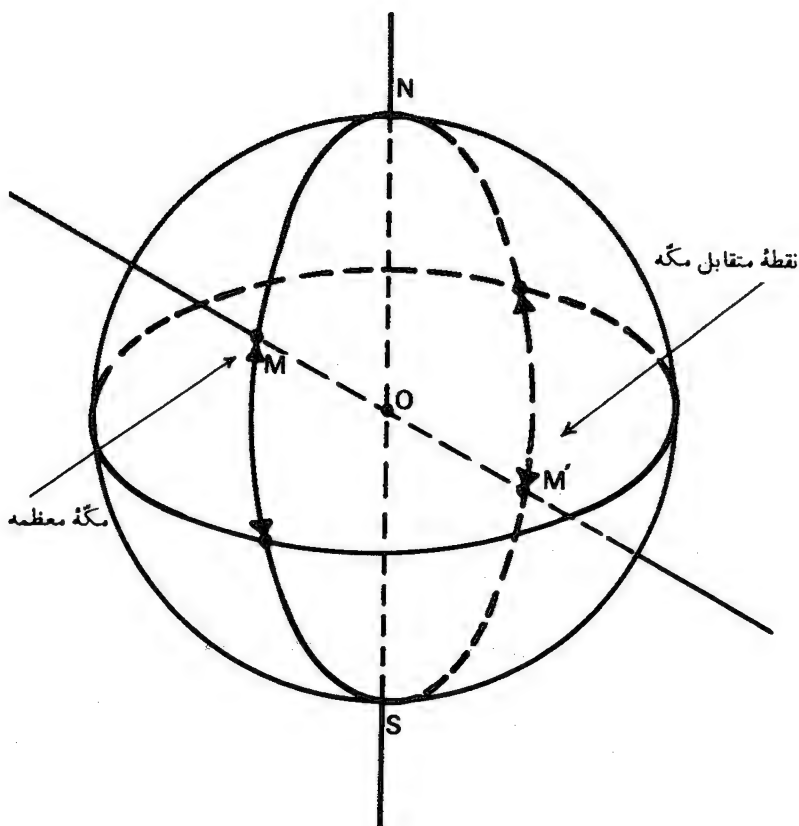
بخش چگونگی تعیین جهت قبله در چنین نقاطی بیان می شود:

۱-۷-۵. تعیین جهت قبله در نقطه متقابل مکه بر روی کره زمین
قبلا فرض شد که مختصات جغرافیایی مکه معظمه به شرح زیر باشد:

$$\varphi_M = 21^\circ 30' \text{ شمالی} \quad \lambda_M = 39^\circ 54' \text{ شرقی}$$

چنانکه فرض کنیم که شکل زمین کاملاً کروی باشد، محوری که از مکه معظمه و مرکز زمین می‌گذرد، سطح کره زمین را در طرف دیگر آن، در نقطه‌ای، متقابل با مکه معظمه، با مختصات جغرافیایی زیر قطع می‌کند، نقطه (M') شکل (۵-۳۴):

$$\varphi_{M'} = 21^\circ 30' \text{ جنوبی} \quad \lambda_{M'} = 140^\circ 6' \text{ غربی}$$



شکل (۵-۳۴) — نقطه متقابل مکه معظمه بر روی کره زمین، نقطه (M') است.

چنین مختصات‌ی بر روی کرهٔ زمین، در جنوب شرقی جزیرهٔ تاهیتی^۱، در میان مجمع‌الجزایر تواموتو^۲، در اقیانوس آرام^۳، قرار دارد.

نظر به اینکه این نقطه در تواموتو و مگهٔ معظمه بر روی یک قطر از کرهٔ زمین قرار دارد، لذا هر دایرهٔ عظیمه‌ای که در نقطهٔ متقابل مگهٔ (M) در هر جهتی رسم شود، از مگهٔ معظمه خواهد گذشت. بنابراین در نقطهٔ متقابل مگهٔ در تواموتو، جهت قبله بهر سویی می‌تواند باشد، بعبارت دیگر در این نقطه بهر سویی که بایستیم، جهت قبله است.

در فصل نهم کتاب، دوباره دربارهٔ نقطهٔ متقابل مگهٔ معظمه بر روی کرهٔ زمین، بحث خواهد شد.

۷-۵. تعیین جهت قبله در نقاط قطب شمال و جنوب جغرافیایی

در بیشتر روشهایی که تا بحال مورد بررسی قرار گرفته است، تعیین جهت قبله در رابطه با امتداد شمال و جنوب جغرافیایی صورت می‌گیرد. وضعیت تابش خورشید در نقاط قطب شمال و جنوب، به وضعی که در مناطق معتدله^۴ می‌بینیم، نیست و لذا بیشتر، روشهایی که در جهت‌یابی و قبله‌یابی بیان شد، در نقطه‌های قطب شمال و جنوب کاربرد ندارد. لذا قبل از بیان روشهای تعیین جهت قبله در نقاط قطب شمال و جنوب زمین، ابتدا چگونگی وضعیت تابش خورشید و یا حرکت ظاهری روزانهٔ خورشید در نقاط قطبی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

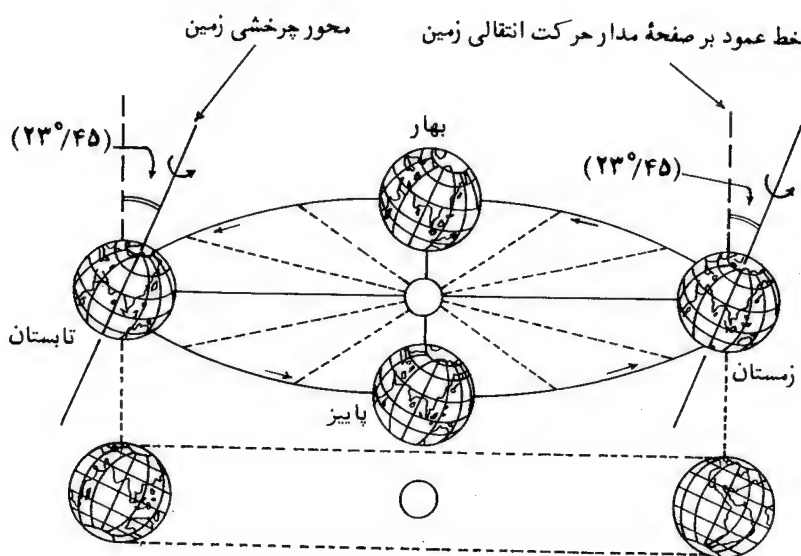
البته وضعیت حرکت ظاهری خورشید در سایر مناطق کرهٔ زمین، قبلاً در مطلب شمارهٔ (۶) در فصل دوم آمده است.

در شکل (۳۵-۵)، مدار حرکت انتقالی زمین به دور خورشید، نشان داده شده است. زمین در طول یک سال شمسی، یک بار این مدار را به دور خورشید می‌پیماید. محور چرخشی زمین نسبت به سطح مدار حرکت انتقالی آن متمایل است و با خط عمود بر آن، زاویه‌ای برابر $23^{\circ}/45$ می‌سازد. امتداد این محور چرخشی عملاً در طول سال به موازات خود باقی می‌ماند. متمایل بودن محور چرخشی زمین نسبت به سطح مدار آن به دور خورشید و همچنین حرکت انتقالی آن، موجب ایجاد فصول چهارگانه بر روی زمین است. همچنین متمایل بودن محور چرخشی زمین باعث گشته است که حرکت ظاهری روزانه

خورشید در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی، بصورت بخصوصی درآید. بدین صورت که در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی، آفتاب تقریباً شش ماه از سال در بالای افق و شش ماه دیگر در زیر افق قرار می گیرد، بعبارت دیگر قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی دارای شبانه روزی بطول یکسال است که طول شب آن در حدود شش ماه و طول روز آن نیز تقریباً شش ماه است. البته هنگامیکه در قطب شمال، روز طولانی شش ماهه در جریان است، در قطب جنوب شب طولانی شش ماهه ادامه می یابد و برعکس.

علت اینکه شبانه روز قطبی یکسال طول می کشد، می توان با دقت در شکل (۵-۳۵) بسادگی فهمید.

در این شکل می بینیم که با شروع بهار، قطب شمال زمین کم کم روبروی خورشید قرار می گیرد و در اوّل تابستان، نواحی قطب شمال، همیشه بطرف خورشید است که این حالت تا پایان فصل تابستان و اوّل پاییز بطول می انجامد. با شروع فصل پاییز، دیگر آفتابی بر نقطه قطب شمال نمی تابد و این وضع در طول فصلهای پاییز و زمستان ادامه دارد و تا اوّل فصل بهار، طول می کشد. در هر کدام از این دو حالت، حرکت وضعی زمین، یعنی چرخش آن به دور خود در طول بیست و چهار ساعت، موجب



شکل (۵-۳۵) — حرکت انتقالی زمین به دور خورشید در طول یک سال شمسی.

طلوع و غروب خورشید نمی شود، چه، مناطق حوالی قطب شمال یا همیشه رو به خورشید است و یا همیشه بدور از آن.

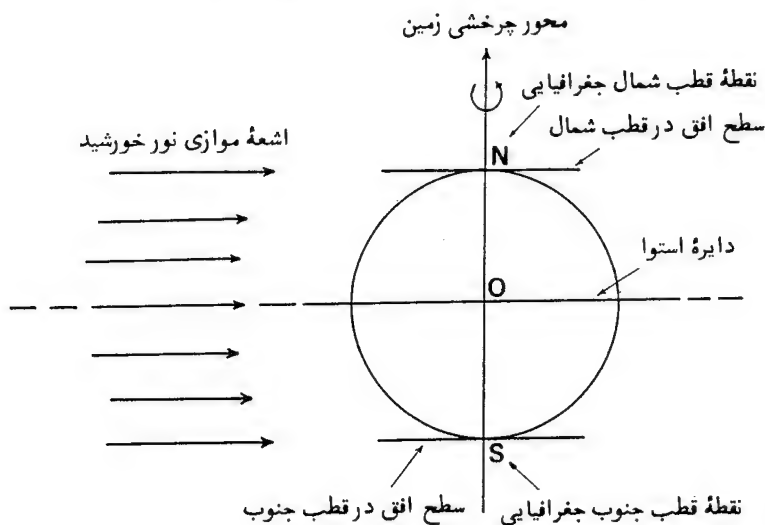
به همین ترتیب می توان دید که درشش ماهی که قطب شمال بطرف خورشید قرار می گیرد (بهار و تابستان)، قطب جنوب، بدور از خورشید است و شب طولانی آن ادامه دارد و برعکس.

حال که چگونگی شبانه روز طولانی قطبی روشن شد، باید دید که درشش ماهی که خورشید همیشه بالای افق در پهنه آسمان است، حرکت ظاهری آن در طول بیست و چهار ساعت به چه صورتی است.

برای درک بهتر مطلب، می بایست میل خورشید را که در شکل (۵-۲۲) نمایانده شد، دوباره مورد توجه قرار داد. اصولاً تغییرات زاویه اشعه موازی خورشید با سطح دایره استوای زمین، بعلت حرکت انتقالی زمین و متمایل بودن محور چرخشی آنست.

در ادامه مطلب با توجه به مقادیر میل خورشید در فصول مختلف—شکل (۵-۲۲)—مطالب گفته شده قبلی را پی می گیریم و آنگاه حرکت ظاهری روزانه خورشید در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی را تشریح می کنیم.

ابتدا از اعتدال بهاری و پاییزی شروع می کنیم. مطابق شکل (۵-۳۶)، خورشید

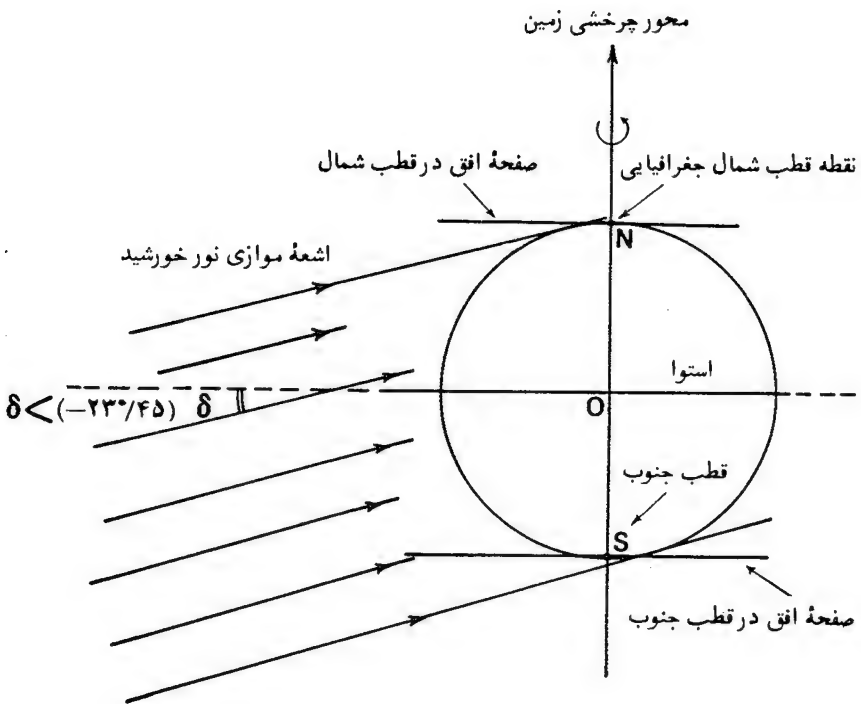


شکل (۵-۳۶)—وضعیت تابش نور خورشید بر کره زمین، در اوّل فصلهای بهار و پاییز.

در اعتدالین بر امتداد سطح دایره استوا قرار می گیرد و در نتیجه، اشعه موازی نور خورشید به موازات سطح دایره استوای زمین، بر آن می تابد.

چنانکه در این شکل دقت شود، دیده می شود که در اعتدالین، خورشید در افقهای نقاط قطب شمال و جنوب جغرافیایی قرار می گیرد؛ بدینصورت که در اعتدال بهاره، آغاز طلوع خورشید در روز طولانی قطب شمال، و غروب خورشید در قطب جنوب و شروع شب طولانی، در آن مکان است، و در اعتدال پاییزه غروب روز طولانی قطب شمال و شروع شب طولانی آن و آغاز طلوع خورشید در روز طولانی قطب جنوب است.

از اوّل پاییز به بعد، با توجه به شکل (۵-۳۷)، میل خورشید تدریجاً از صفر درجه در اعتدال پاییزه به $23^\circ/45'$ — در انقلاب زمستانی نزول می کند و درحقیقت

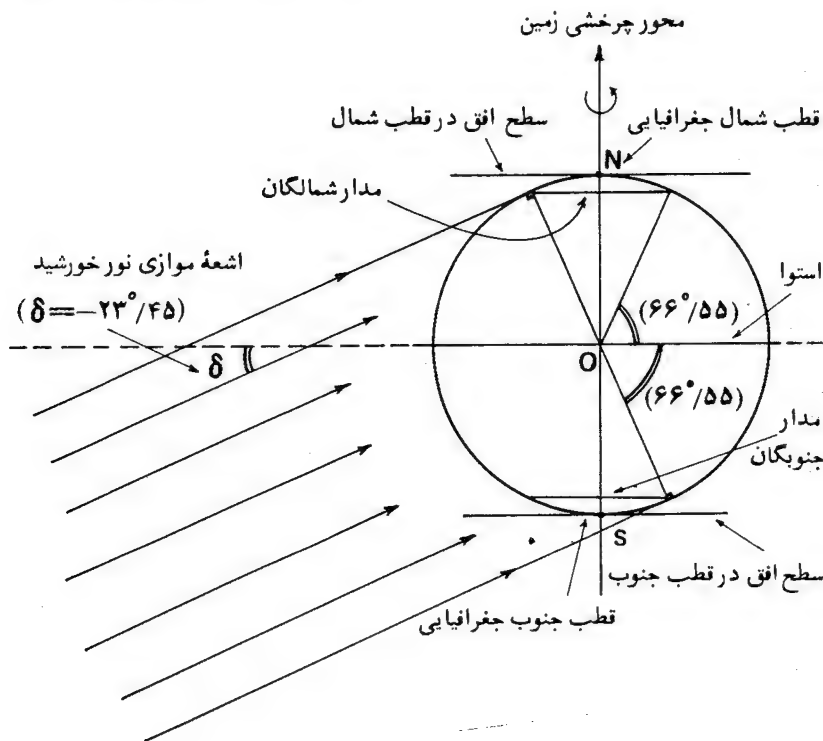


شکل (۵-۳۷) — وضعیت تابش نور خورشید بر کره زمین از اوّل پاییز به بعد و از اوّل زمستان به بعد.

خورشید در زیر دایره استوا قرار می گیرد. در نتیجه، از اوّل پاییز به بعد به مرور، مناطق بیشتری از اطراف قطب شمال در تاریکی فرو می رود و برعکس مناطق وسیعتری در اطراف قطب جنوب، در روشنی دائمی خورشید قرار می گیرد. در این حالت علی رغم حرکت وضعی زمین، مناطق اطراف قطب شمال در تاریکی و مناطق اطراف قطب جنوب در روشنی خورشید قرار دارند.

در اوّل زمستان، خورشید در منتهی الیه وضعیت خود در زیر امتداد سطح دایره استوا واقع است، عبارت دیگر میل خورشید، به کمترین مقدار خود یعنی $(\delta = -23^\circ/45)$ می رسد، شکل (۵-۳۸).

در این شکل مداری شمالی با اندازه $66^\circ/55$ — $23^\circ/45$ به نام مدار شمالگان (مدار قطب شمال) نشان داده شده است. در اوّل زمستان بیشترین مساحت ممکنه از مناطق



شکل (۵-۳۸) — وضعیت تابش نور خورشید بر کره زمین در اوّل زمستان.

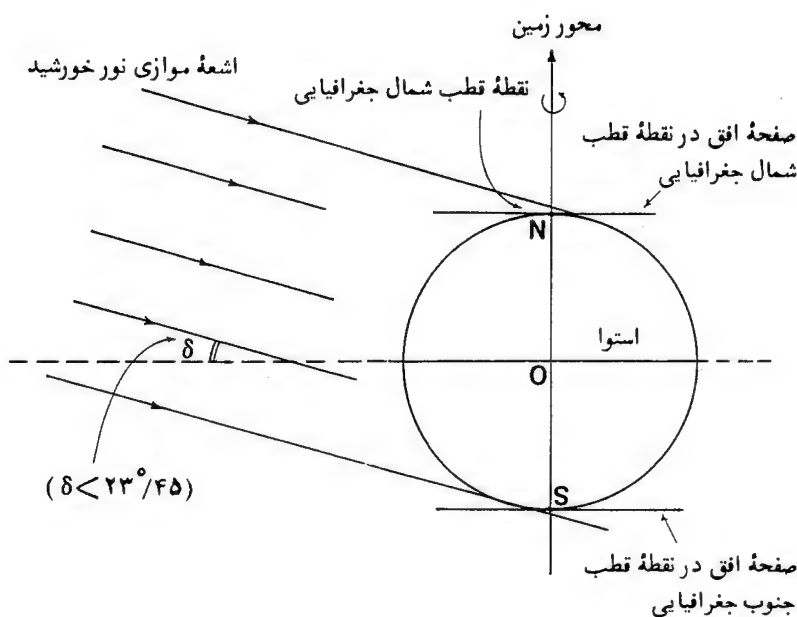
اطراف قطب شمال جغرافیایی در تاریکی فرو می رود، عبارت دیگر کلیه مناطق واقع در شمال مدار شمالگان (منطقه منجمده شمالی^۱) در تاریکی شب قرار می گیرند و برای تمام نقاطی که بر روی مدار قطب شمال قرار دارند، خورشید در طول بیست و چهار ساعت شبانه روز در سطح افق قرار خواهد داشت.

برعکس در اوّل زمستان نیمکره شمالی (اوّل تابستان نیمکره جنوبی) بیشترین مساحت ممکنه از مناطق اطراف قطب جنوب جغرافیایی، در روشنی خورشید قرار می گیرند. در شکل (۵-۳۸)، مداری جنوبی با اندازه $۵۵/۶۶^\circ$ به نام مدار جنوبگان^۲ دیده می شود، در اوّل زمستان نیمکره شمالی، کلیه مناطق واقع در جنوب این مدار (منطقه منجمده جنوبی)^۳ در روشنی خورشید قرار دارند و برای تمام نقاطی که بر روی این مدار واقعند، خورشید در طول بیست و چهار ساعت شبانه روز در سطح افق، دیده می شود.

از نقطه انقلاب زمستانی به بعد، خورشید دوباره تدریجاً به امتداد سطح دایره استوا نزدیکتر می شود و حالت شکل (۵-۳۷) مجدداً تکرار می گردد و به مرور، مناطق بیشتری از منطقه منجمده شمالی در روشنی خورشید قرار می گیرد، اما خود نقطه قطب شمال در این حالت هنوز در تاریکی شب قرار دارد. البته در این وضعیت نقطه قطب جنوب جغرافیایی کماکان در روشنی خورشید قرار دارد و از وسعت مناطقی از منطقه منجمده جنوبی که در روشنی روز قرار دارند، کاسته می شود.

بعد از این مرحله، به اعتدال بهاری در اوّل فصل بهار می رسیم که خورشید بر امتداد سطح دایره استوا قرار می گیرد ($\delta = 0^\circ$)، شکل (۵-۳۶). در این حالت، در نقطه قطب شمال، خورشید در افق، ظاهر می گردد که در حقیقت موقع طلوع خورشید و شروع روز طولانی نقطه قطب شمال است. در نقطه قطب جنوب جغرافیایی نیز خورشید در افق، قرار دارد و موقع غروب خورشید و شروع شب طولانی قطبی، در آنجاست.

از اوّل بهار به بعد، میل خورشید تدریجاً از صفر درجه به $۲۳/۴۵^\circ$ می رسد، شکل (۵-۳۹). در این مرحله، خورشید همواره در بالای امتداد سطح دایره استوا قرار دارد و در نتیجه، نقطه قطب شمال جغرافیایی همواره به طرف خورشید قرار می گیرد. ارتفاع خورشید در نقطه قطب شمال جغرافیایی از صفر درجه در اوّل بهار، به بیشترین اندازه خود در اوّل تابستان می رسد. با ازدیاد میل خورشید، مناطق بیشتری از منطقه منجمده جنوبی در تاریکی فرو می رود، در حالی که به مرور، مناطق وسیعتری از منطقه

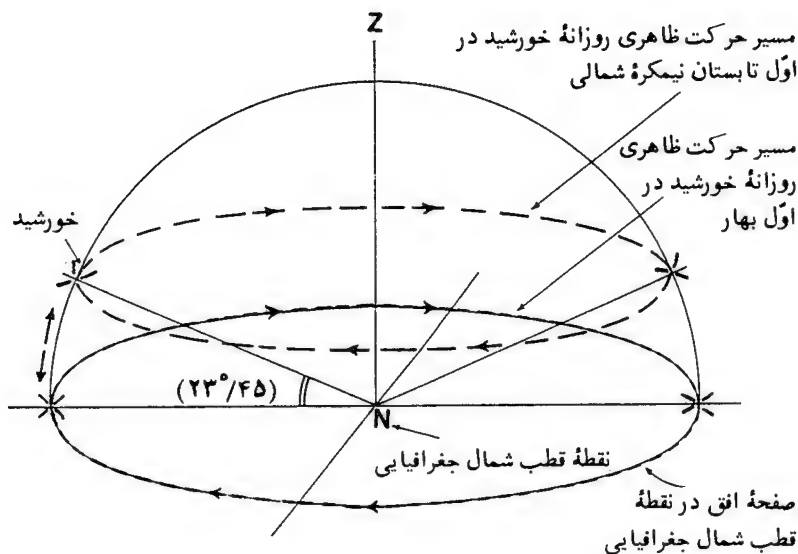


شکل (۵-۳۹) — وضعیت تابش نور خورشید در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی از اول فصل بهار به بعد.

منجمده شمالی در روشنی خورشید قرار می‌گیرند.

در نقطه انقلاب تابستانی (اول تابستان در نیمکره شمالی، اول زمستان در نیمکره جنوبی)، خورشید در انتها الیه وضعیت خود در بالای امتداد سطح دایره استوا قرار می‌گیرد، عبارت دیگر، میل خورشید به بیشترین مقدار خود یعنی $(\delta = +23^\circ/45)$ می‌رسد، شکل (۵-۴۰). در اینحالت، بیشترین وسعت از ناحیه قطب شمال جغرافیایی یعنی تمام منطقه منجمده شمالی در روشنی داریم خورشید قرار می‌گیرد، و برعکس بیشترین سطح از ناحیه قطب جنوب جغرافیایی یعنی تمام منطقه منجمده جنوبی در تاریکی داریم شب فرومی‌رود. در این وضعیت، ارتفاع خورشید در نقطه قطب شمال جغرافیایی، به بیشترین اندازه خود می‌رسد.

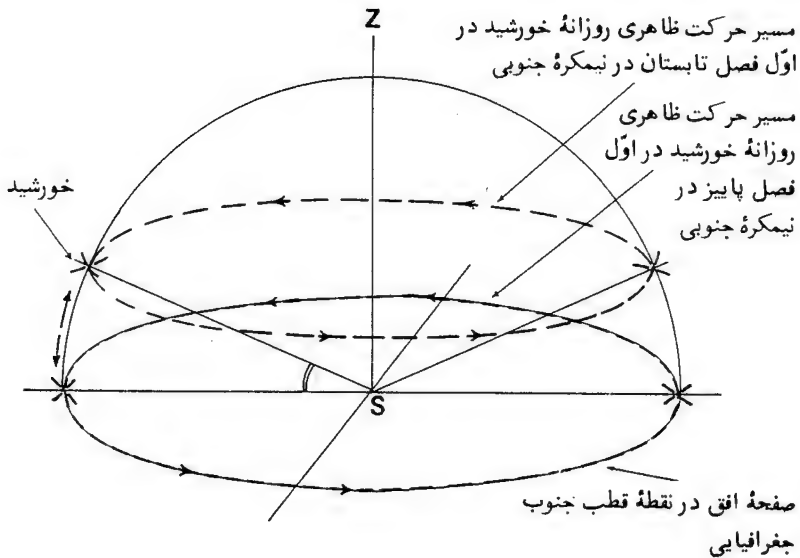
از اول تابستان به بعد، خورشید تدریجاً به امتداد سطح دایره استوا نزدیکتر شده، حالت شکل (۵-۳۹) دوباره تکرار می‌گردد. در اینحالت نقطه قطب شمال،



شکل (۵-۴۱) — مسیر حرکت ظاهری خورشید در یست و چهار ساعت شبانه روز در روز طولانی قطب شمال جغرافیایی.

که روز طولانی قطبی ادامه دارد، خورشید همیشه روبروی نقطه قطب شمال جغرافیایی، از دوردست و از نقطه ثابتی می‌تابد. اما ناظر مستقر در نقطه قطب شمال جغرافیایی، در طول یست و چهار ساعت حرکت چرخشی زمین، خورشید را در یک مسیر دایره‌ای شکل به موازات سطح افق در حرکت می‌بیند، شکل (۵-۴۱). البته این حرکت، ناشی از حرکت وضعی زمین است و به همین علت به نام حرکت ظاهری روزانه خورشید، نامیده می‌شود. در این شکل، فقط مسیرهای اول تابستان و اول بهار نشان داده شده است و مسیرهای سایر ایام بین این دو مسیر قرار می‌گیرند. چنانکه در شکل (۵-۴۱) ارائه شده، جهت حرکت ظاهری خورشید همسوی حرکت عقربه‌های ساعت است. به همین ترتیب مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در نقطه قطب جنوب جغرافیایی در شکل (۵-۴۲) نمایانده شده که عکس حرکت عقربه‌های ساعت در آنجاست.

چنانکه ناظر مربوط، در عرضهای جغرافیایی کمتر از 90° درجه شمالی (نقطه قطب شمال جغرافیایی) و بیشتر از $66^\circ/55^\circ$ شمالی (مدار قطب شمال) قرار گیرد،

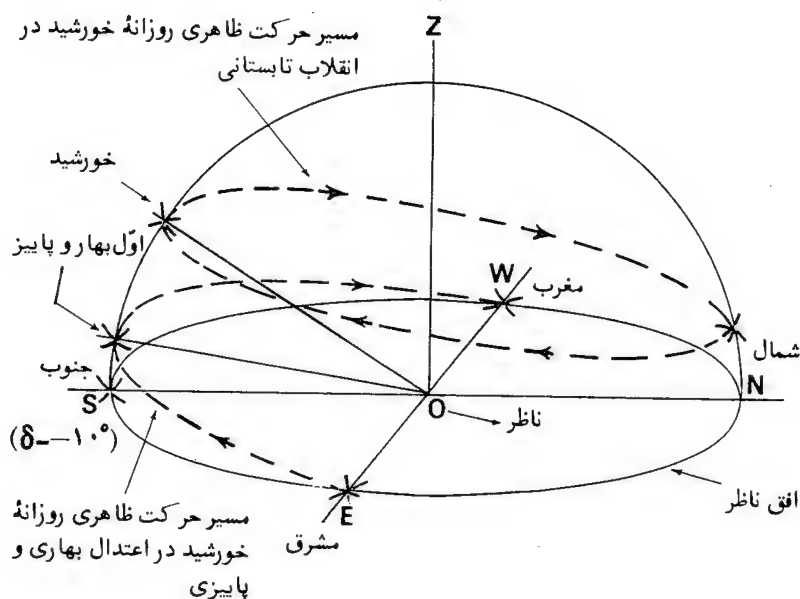


شکل (۵-۴۲) — مسیر حرکت ظاهری خورشید در بیست و چهار ساعت شبانه روز در روز طولانی قطب جنوب جغرافیایی.

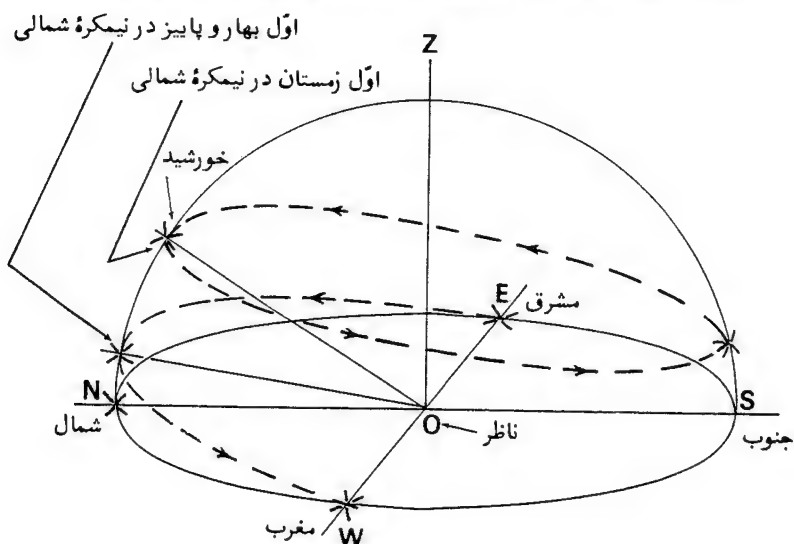
خورشید دوباره بنظر او مسیری دایره‌ای را ظاهر خواهد پیمود. اما در این حالت، سطح مسیر دایره‌ای، به موازات سطح افق نبوده بلکه نسبت به آن متمایل است. این مطلب در شکل (۵-۴۳) برای مدار ۸۰ درجه شمالی و در شکل (۵-۴۴) برای مدار ۸۰ درجه جنوبی نمایانده شده است. همچنین مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید برای مدار ۷۰ درجه شمالی و جنوبی، قبل در شکل‌های (۲-۱۶) و (۲-۲۱) در مطلب شماره (۶) در فصل دوم آمده است.

چنانکه از شکل (۵-۴۳) پیداست، مناطق واقع بر مدار ۸۰ درجه شمالی، هم دارای شب و روز طولانی قطبی است و هم دارای شب و روزهای ۲۴ ساعته، و در اول بهار و پاییز، طول شب و روز برابر است. بنابراین، زمان شب و روز طولانی قطبی در محل‌های واقع بر مدار ۸۰ درجه شمالی و یا جنوبی کمتر از شش ماه است.

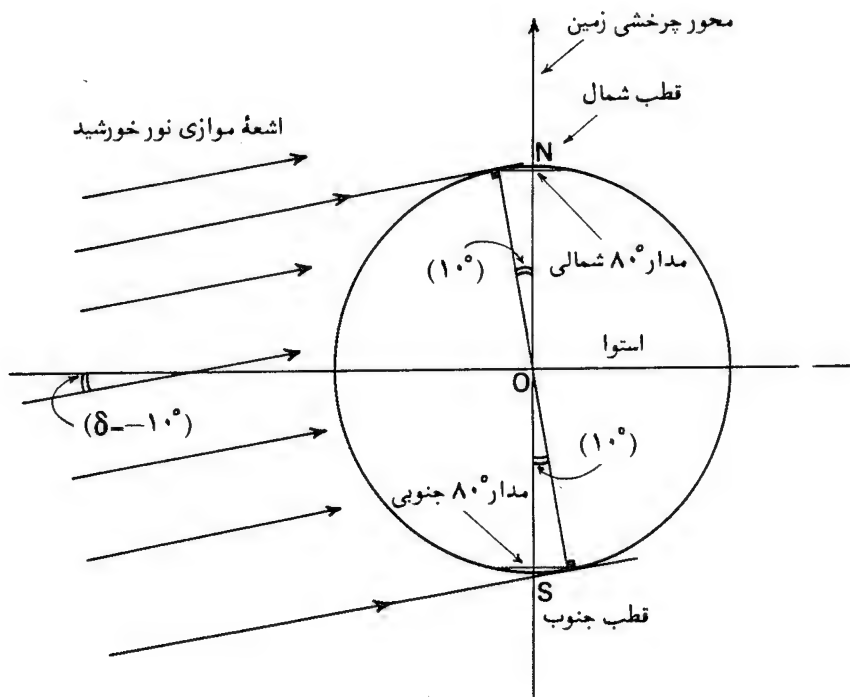
چنانچه در شکل (۵-۴۵) دیده می‌شود، هنگامی که میل خورشید از صفر درجه در اعتدال پاییز به 10° — در حدود ۲۸ مهرماه (۲۰ اکتبر) می‌رسد، شب طولانی



شکل (۵-۴۳) - مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در عرض جغرافیایی ۸۰ درجه شمالی.



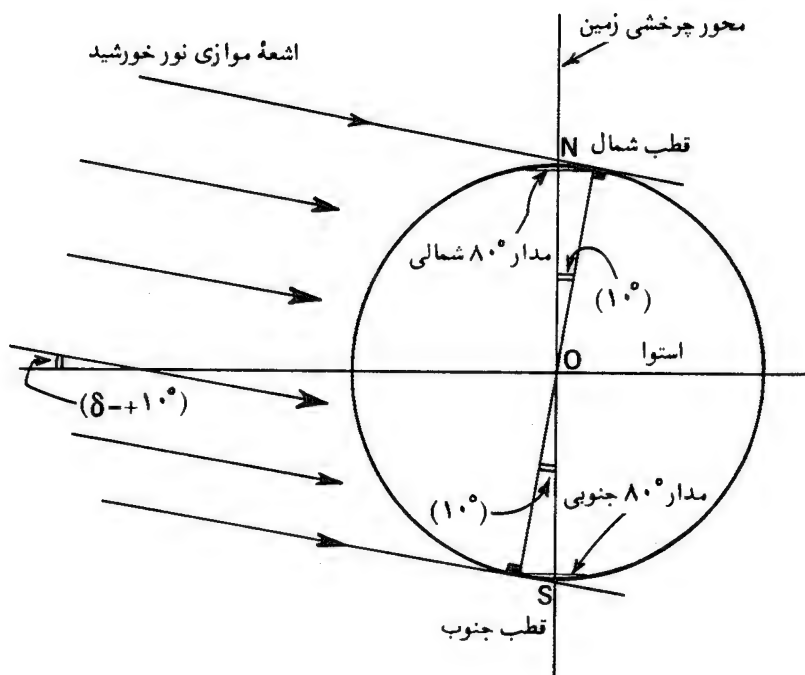
شکل (۵-۴۴) - مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در عرض جغرافیایی ۸۰ درجه جنوبی.



شکل (۴۵-۵) - وضعیت تابش اشعه موازی خورشید در مدارهای ۱۰ درجه شمالی و جنوبی، زمانی که میل خورشید ۱۰° - است.

قطبی در مناطق واقع بر مدار ۸۰° شمالی آغاز می شود و برعکس روز طولانی قطبی در مدار ۸۰° جنوبی، آغاز می گردد. شب طولانی قطبی در مدار ۸۰° شمالی و روز طولانی قطبی در مدار ۸۰° جنوبی تا حوالی چهارم اسفندماه (۲۳ فوریه) که میل خورشید دوباره ۱۰° - می شود، بطول می انجامد.

با این توصیف مدت شب طولانی قطبی در مناطق واقع بر مدار ۸۰° شمالی و روز طولانی قطبی بر مناطق واقع بر مدار ۸۰° جنوبی در حدود ۱۲۷ روز بطول می انجامد. از نقطه اعتدال بهار به بعد که میل خورشید صفر درجه است تا ۲۷ فروردین ماه (۱۶ آوریل) که میل خورشید تقریباً برابر ۱۰° + می شود، در مناطق واقع بر مدار ۸۰° شمالی، خورشید بصورت معمولی، دارای طلوع و غروب می باشد و طول شبانه روز ۲۴ ساعت است، شکل (۴۶-۵). البته هرچه به ۲۷ فروردین ماه نزدیک تر می شود، طول روز افزایش یافته، از مدت شب کاسته می گردد. در این تاریخ، خورشید در مناطق



شکل (۵-۴۶) — وضعیت تابش اشعه موازی خورشید در مدارهای ۱۰ درجه شمالی و جنوبی، زمانی که میل خورشید ۱۰° + است.

واقع بر مدار ۸۰° جنوبی غروب می کند و شب طولانی این مناطق آغاز می شود. از ۲۷ فروردین ماه به بعد که میل خورشید از ۱۰° + بیشتر می شود، خورشید در مناطق واقع بر مدار ۸۰° شمالی، غروب ندارد و همیشه در پهنه آسمان دیده می شود. بنابراین روز طولانی قطبی در این مناطق در ۲۷ فروردین ماه شروع می شود و تا ششم شهریورماه (۲۸ اوت) که میل خورشید دوباره ۱۰° + می شود بطول می انجامد. از این تاریخ به بعد مجدداً خورشید دارای طلوع و غروب است.

در ۶ شهریورماه، خورشید بار دیگر در مناطق واقع بر مدار ۸۰° جنوبی، طلوع می کند و شب طولانی این مناطق به پایان می رسد. بنابراین مدت روز طولانی قطبی در مناطق واقع بر مدار ۸۰° شمالی و شب طولانی قطبی، در مناطق واقع بر مدار ۸۰° جنوبی

در حدود ۱۳۵ روز، بطول می انجامد.

البته باید توجه داشت که مدت شش ماهه شب و روز طولانی قطبی در قطبهای شمال و جنوب و همچنین مدتهای ذکر شده برای مناطق واقع بر مدارهای 80° شمالی و جنوبی تقریبی است و تصحیح لازم برای اثر شکست نور در اتمسفر کره زمین و اندازه ظاهری قرص خورشید^۱ در آنها، صورت نگرفته است.

این مطلب در فصل ششم کتاب، تحت بررسی واقع شده است.

حال که وضعیت حرکت ظاهری خورشید در طول ۲۴ ساعت شبانه روز در مناطق

قطبی روشن شد، می توان روشهای تعیین جهت قبله در این مناطق را تشریح کرد.

بجز در خود قطبهای جغرافیایی، روشهای تعیین جهت قبله را که قبلاً بیان شده است، می توان در مناطق منجمده شمالی و جنوبی نیز بکار گرفت. از جمله می توان، با استفاده از امتداد سایه یک میله قائم در روز هشتم خردادماه در ساعت ۹ و ۱۷/۵۸ دقیقه صبح و یا در روز بیست و پنجم تیرماه در ساعت ۹ و ۲۷/۲۶ دقیقه صبح به وقت گرینچ، که قبلاً در مثال (۱۸-۵) محاسبه شد، جهت قبله را در مناطق منجمده شمالی تعیین کرد. البته این روش خاص را نیز می توان در خود نقطه قطب شمال جغرافیایی بکار گرفت. اوقات مربوط به مناطق منجمده جنوبی در فصل نهم کتاب آمده است. بدیهی است این روش، در مدت شبهای طولانی قطبی، نمی تواند کاربرد داشته باشد. اما در خود نقاط قطب شمال و جنوب جغرافیایی، می توان روش زیر را بکار گرفت: در این روش که فقط در مدت روز طولانی قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی کاربرد دارد، ابتدا می بایست زمان عبور خورشید از نصف النهار گرینچ در روز مربوط را محاسبه کرد. این مطلب در مثال زیر آمده است:

مثال (۱۹-۵)— وقت عبور خورشید از نصف النهار گرینچ را در قطب شمال

جغرافیایی در روز ۱۱ خردادماه (اول ژوئن) به وقت گرینچ محاسبه کنید.

راه حل— در روز اول ژوئن، تعدیل زمان از جدول (۳-۷) برابر (ثانیه ۲۵ و دقیقه ۲+) است. لذا با استفاده از فرمول (۳-۱) خواهیم داشت:

$$12 = GMT + 2/22 + 2 \times 0$$

$$GMT = \text{ساعت } 11 \text{ و } 57/58 \text{ ثانیه صبح}$$

بنابراین چنانکه ناظری در نقطه قطب شمال، ساعت خود را دقیقاً با وقت گرینچ

میزان کند، می تواند با استفاده از امتداد سایه یک میله قائم، در وقت محاسبه شده،

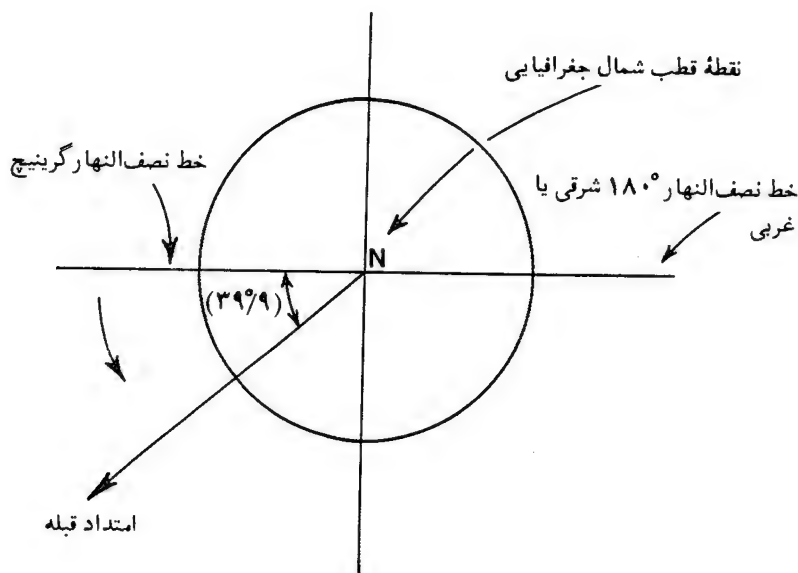
با فرض کروی شکل بودن زمین، امتداد نصف‌النهار گرینیچ را مشخص کند.
 اما می‌دانیم که کلیه نصف‌النهارات، همدیگر را در نقطه قطب شمال جغرافیایی قطع می‌کنند، لذا مطابق آنچه که در شکل (۴۷-۵) می‌بینید، می‌توان امتداد نصف‌النهار مکه $۳۹^{\circ}/۹$ شرقی را نسبت به امتداد نصف‌النهار گرینیچ مشخص کرد.
 با توجه به آنچه که گفته شد، می‌توان روش تعیین جهت قبله در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی را به شرح زیر خلاصه کرد:

۱. میزان کردن ساعت به وقت گرینیچ.

۲. محاسبه وقت عبور خورشید از نصف‌النهار گرینیچ در روز مربوط، به شرحی که آمد.

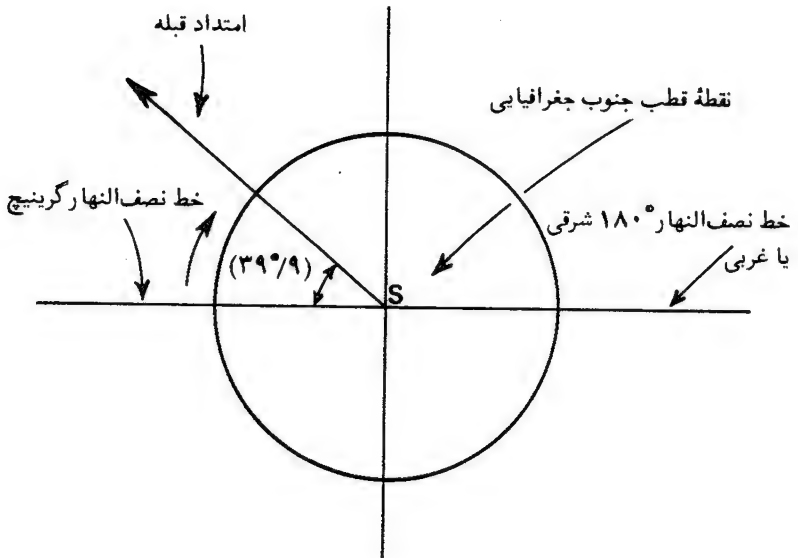
۳. تعیین امتداد سایه یک میله قائم در وقت محاسبه شده، که امتداد سایه، امتداد نصف‌النهار ۱۸۰° شرقی و یا غربی می‌باشد و جهت عکس امتداد سایه، امتداد نصف‌النهار گرینیچ است.

۴. سپس در نقطه قطب شمال جغرافیایی خطی را چنان رسم می‌کنیم که در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت (در قطب شمال جغرافیایی) زاویه‌ای برابر $۳۹^{\circ}/۹$ با امتداد نصف‌النهار گرینیچ بسازد. این خط جهت قبله است. در قطب جنوب



شکل (۴۷-۵) — جهت قبله در نقطه قطب شمال جغرافیایی نسبت به امتداد نصف‌النهار گرینیچ.

جغرافیایی، این خط در جهت حرکت عقربه های ساعت ترسیم می شود، شکل (۵-۴۸).



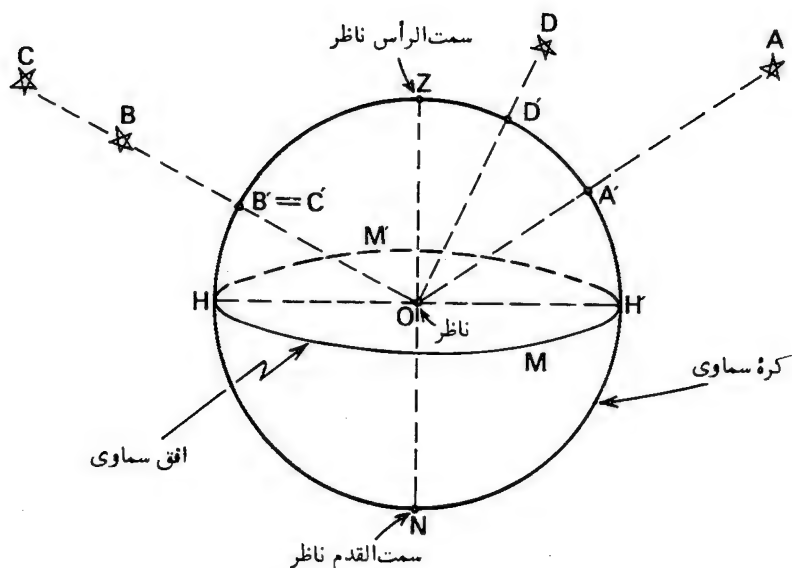
شکل (۵-۴۸) — جهت قبله در نقطه قطب جنوب جغرافیایی نسبت به امتداد نصف النهار گرینیچ.

شرح پاره‌ای از اصطلاحات نجومی

تا بحال در فصلهای قبلی به اصطلاحات نجومی متعددی برخورد کرده‌ایم که شرح آنها در این فصل آمده است. البته در این فصل، منظور پرداختن به نجوم عملی نیست و فقط شرح اصطلاحات مورد لزوم در موضوع جهت‌یابی و قبله‌یابی عنوان شده است. بدین ترتیب، خواننده، تا حد زیادی از مراجعه به کتابهای دیگر، بی‌نیاز می‌شود.

۱. کره سماوی^۱

در شبهای صاف و بدون ابر، با چشم غیرمسلح، هزاران ستاره را می‌توان در پهنه آسمان دید. تعداد ستارگان قابل رؤیت، با وسایل نجومی، به میلیونها می‌رسد. این ستارگان نسبت به ناظر، دارای فواصل برابر نیستند، بلکه در فواصل مختلف، قرار دارند. اما آنچه که برای ناظر مهم است، وضعیت و جهت ستارگان نسبت به همدیگر است، نه فواصل آنها. بنابراین می‌شود تصور کرد که همه ستارگان بر کره‌ای فرضی قرار داشته باشند و ناظر در مرکز آن باشد. چنین کره‌ای که کلیه ستارگان بر روی آن تصویر شده و یا مورد مطالعه قرار می‌گیرند، کره سماوی نامیده می‌شود. چون فقط جهت ستارگان برای ناظر مهم است. لذا شعاع کره سماوی اختیاری است و با هر طولی می‌توان آن را در نظر گرفت. در شکل (۱-۶)، چهار ستاره A، B، C و D با فواصل مختلف نسبت به ناظر مستقر در نقطه O، تصویر شده‌اند. از آنجایی که فواصل، مورد نظر نیستند، لذا می‌توان چهار ستاره را بر کره‌ای فرضی با شعاع اختیاری در نقاط A، B، C و D و به مرکز،

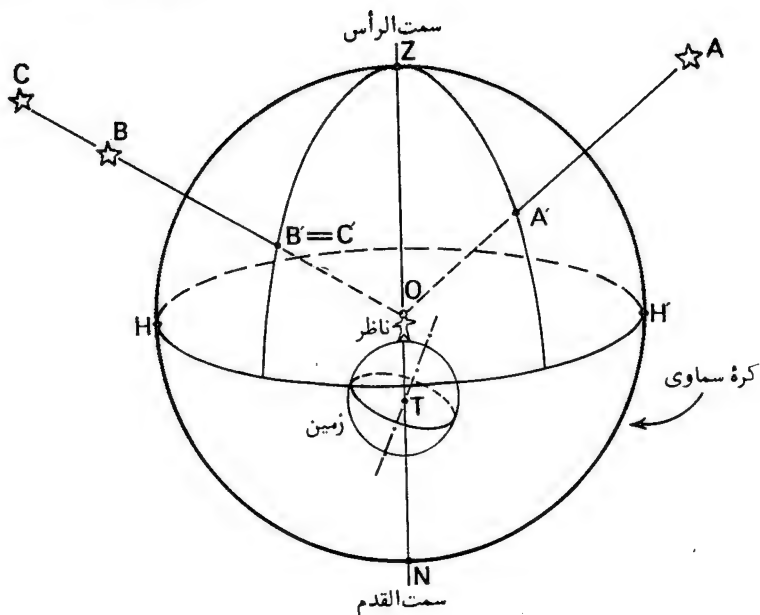


شکل (۶-۱) - چگونگی تصویر ستارگان مختلف بر کره سماوی.

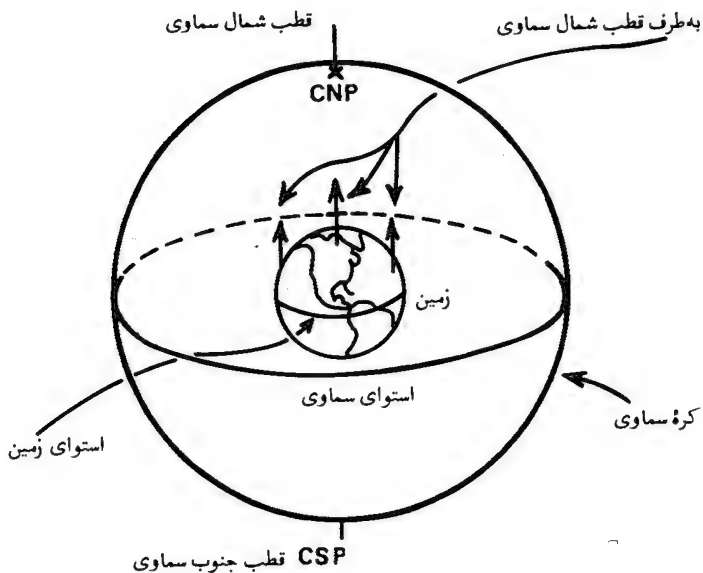
تصویر کرد. چنانکه می بینیم ستارگان B , C دارای جهت یکسانی هستند و لذا بر روی کره سماوی، در یک نقطه قرار می گیرند؛ عبارت دیگر نقاط B' و C بر هم منطبق هستند.

طول شعاع کره زمین در مقایسه با فواصل ستارگان از زمین، آنقدر کوچک است که می توان بیشتر اوقات، بجای قرار دادن ناظر در مرکز کره سماوی، کره زمین را در مرکز آن تصور کرد، شکلهای (۶-۲) و (۶-۳).

از آنجایی که اندازه شعاع کره سماوی اختیاری است، لذا می توان اندازه آن را بینهایت نیز، فرض کرد. در این صورت کلیه خطوط موازی، همدیگر را در نقطه ای بر روی چنین کره ای با شعاع بینهایت قطع خواهند کرد. بعنوان مثال چنانکه در شکل (۶-۳) نشان داده شده است، خطوطی که در نقاطی بر روی زمین به موازات محور زمین در نظر گرفته شوند، کره سماوی را در همان نقطه ای قطع می کنند که امتداد محور زمین آن را قطع می کند. البته نشان دادن این مطلب در یک شکل که ناچار، شعاع بینهایت کره سماوی در مقایسه با شعاع کره زمین، بصورت طولی محدود در نظر گرفته می شود، ممکن نیست.



شکل (۶-۲) - وضعیت ناظر و کره زمین در کره سماوی.



شکل (۶-۳) - تصور نحوه قرارگیری زمین در مرکز کره سماوی.

۲. سمت الرأس^۱ و سمت القدم^۲

نقطه ای که بر روی کره سماوی در امتداد خط قائم بر بالای سر ناظر قرار می گیرد، سمت الرأس، نامیده می شود؛ عبارت دیگر، امتداد خط شاقولی که از ناظر گذر می کند، کره سماوی را در سمت الرأس، قطع می کند.

نقطه مقابل سمت الرأس ناظر بر روی کره سماوی که در طرف زیر پای او قرار می گیرد، سمت القدم نامیده می شود. از آنجایی که امتداد خط شاقول از مرکز ثقل زمین می گذرد، بنابراین به یک شیء، وقتی قائم گفته می شود که امتداد آن، از مرکز ثقل زمین بگذرد.

در شکل (۱-۶) ناظر در نقطه O مرکز کره سماوی، نقطه بالای آن در امتداد خط قائم یعنی نقطه Z، سمت الرأس ناظر و نقطه زیر پای ناظر در امتداد خط قائم یعنی نقطه N سمت القدم ناظر است. سمت الرأس و سمت القدم ناظر در شکل (۲-۶) نیز نشان داده شده است.

۳. افق سماوی^۳

صفحه ای که از مرکز زمین می گذرد و بر خط واصل بین سمت الرأس و سمت القدم، عمود است، کره سماوی را در دایره عظیمه ای قطع می کند که افق سماوی نامیده می شود. در شکل (۱-۶)، دایره عظیمه $HH'M'$ افق سماوی است که صفحه این دایره، بر خط ZON در نقطه O عمود است.

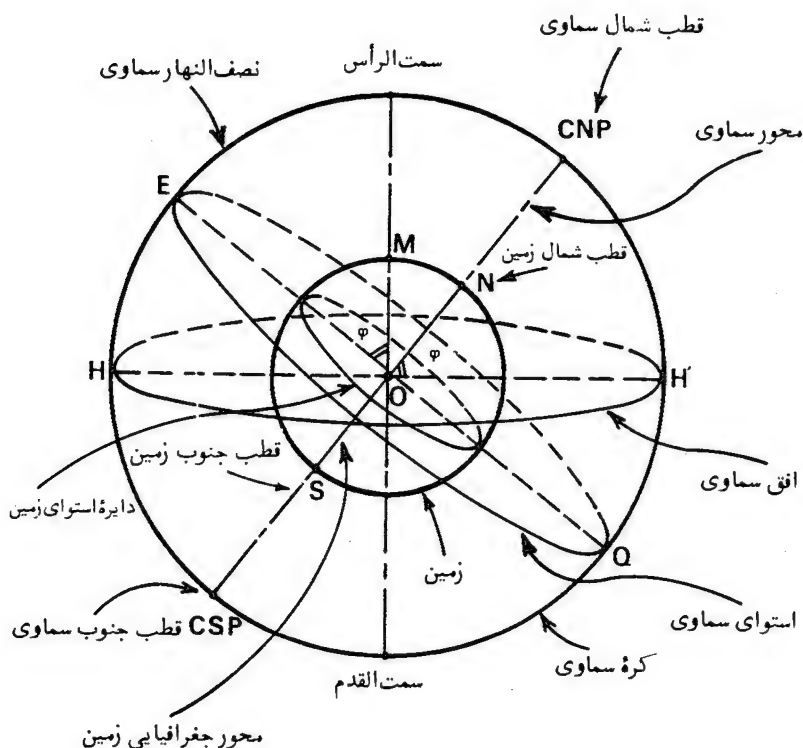
افق سماوی را، افق حقیقی^۴ نیز می نامند. همچنین نام دیگر افق سماوی، افق نجومی^۵ است که توسط منجمین تعریف شده است و به منظور یکی از مشخصه های دستگاه مختصات برای تعیین وضعیت اجرام سماوی، در نظر گرفته می شود.

۴. قطبهای زمین^۶ و دایره استوای^۷ زمین

محور چرخشی زمین، آن را در دو نقطه، قطع می کند که قطبهای زمین نام

- | | | | |
|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| 1. Zenith | 2. Nadir | 3. Celestial Horizon | 4. True (Rational) Horizon |
| 5. Astronomical Horizon | 6. Terrestrial Poles | 7. Equator | |

دارند. زمین حول محوری ثابت، دارای حرکتی دورانی است که جهت حرکت آن از مغرب به مشرق، می‌باشد. یک دوران کامل زمین حول محور چرخشی آن ۲۴ ساعت طول می‌کشد، که اصطلاحاً یک روز و یا یک شبانه‌روز را بوجود می‌آورد. محور ثابتی که زمین حول آن دارای حرکت چرخشی است، محور جغرافیایی^۱ نامیده می‌شود. همچنین قطبهای زمین به نام قطبهای جغرافیایی^۲ نیز معروفند. قطبی که در جهت شمال قرار گرفته به نام قطب شمال جغرافیایی^۳ و دیگری که در جهت جنوب است به نام قطب جنوب جغرافیایی^۴ است. در شکل (۴-۶) وضعیت قطبها و محور جغرافیایی زمین در کره سماوی نمایانده شده است.



شکل (۴-۶) - وضعیت قطبها و دایره استوای زمین در کره سماوی نسبت به قطبهای سماوی و استوای سماوی.

1. Geographical Axis 2. Geographical Poles 3. North Geographical Pole
4. South Geographical Pole

دایره استوای زمین، دایره عظیمه‌ای است که صفحه آن بر محور چرخشی زمین عمود است و بدین ترتیب فاصله قطبهای جغرافیایی زمین، از آن برابر است. امتداد و جهت محور چرخشی زمین در فضا ثابت است، اما محل قطبهای جغرافیایی بر روی زمین، در سالهای مختلف تغییر می‌کند. در حقیقت، بعلت حرکت لرزشی زمین، محل برخورد محور چرخشی زمین با آن ثابت نیست و نقاط مختلفی بر روی زمین در وضعیت قطبهای زمین قرار می‌گیرند. حرکت لرزشی زمین قبلاً نیز در فصل اول، در بخش (۴-۱) مورد بحث قرار گرفت و دیدیم که تغییرات کم‌عرض جغرافیایی، ناشی از آنست. مقدار تغییر محل قطبهای جغرافیایی زمین، از زمانی که نخستین اندازه‌گیریهای تغییرات عرض جغرافیایی صورت گرفته، در حدود ۵۰ فوت بوده است.

۵. قطبهای سماوی و محور سماوی^۲

چنانکه محور جغرافیایی زمین را از هر دو طرف امتداد دهیم، کره سماوی را در دو نقطه به نامهای قطب شمال سماوی^۳ و قطب جنوب سماوی^۴، قطع می‌کند، شکلهای (۳-۶) و (۴-۶).

محوری که قطبهای سماوی را به همدیگر وصل می‌کند، محور سماوی و یا محور عالم نامیده می‌شود.

محور سماوی بر افق سماوی، عمود نیست بلکه نسبت به آن متمایل است و زاویه بین محور سماوی و افق سماوی، برابر عرض جغرافیایی محل است. این مطلب در شکل (۴-۶) در مورد نقطه M بر روی زمین نشان داده شده است که در آن (φ) عرض جغرافیایی نقطه M است.

۶. استوای سماوی^۵

چنانکه صفحه دایره استوای زمین از هر سو امتداد داده شود، کره سماوی را در دایره عظیمه‌ای قطع خواهد کرد که به استوای سماوی، موسوم است. بدین ترتیب

1. Wobbly Motion 2. Celestial Pole 3. Celestial Axis
4. Celestial North Pole (CNP) 5. Celestial South Pole (CSP)
6. Celestial Equator

صفحه استوای سماوی بر صفحه استوای زمین منطبق و بر محور سماوی، عمود است. در شکل (۴-۶)، دایره عظیمه EQ، استوای سماوی است.

۷. مایل دریایی^۱

یکی از واحدهای اندازه‌گیری مسافت در دریانوردی و هوانوردی، مایل دریایی است که برابر با طول قوس یک دقیقه‌ای از دایره‌ای عظیمه بر روی کره زمین است. از آنجاییکه زمین به شکل کره کاملی نیست، لذا این واحد طول، برحسب دایره عظیمه انتخاب شده، متغیر است. چنانکه شعاع زمین ۶۳۷۰ کیلومتر فرض شود، طول قوس یک دقیقه‌ای دایره عظیمه مربوط خواهد شد:

$$\text{یک مایل دریایی} = \frac{\text{محیط دایره عظیمه}}{۳۶۰ \times ۶۰}$$

$$\text{یک مایل دریایی} = \frac{۲ \times ۶۳۷۰ \times \pi}{۳۶۰ \times ۶۰} = ۱۸۵۲ \text{ متر}$$

واحد انگلیسی مایل دریایی برابر با ۱۸۵۳/۲ متر و یا ۶۰۸۰ فوت است که به مایل ادمیرالتی^۲ موسوم است. واحد آمریکایی مایل دریایی برابر ۱۸۵۳/۲۴۸ متر و یا ۶۰۸۰/۲۰ فوت است که این واحد، دیگر بصورت رسمی، در آمریکا کاربرد ندارد. واحد بین‌المللی مایل دریایی برابر ۱۸۵۲ متر و یا ۶۰۷۶/۱۱۵ فوت است که از اوّل ماه ژوئیه سال ۱۹۵۹، در کشور آمریکا، بصورت رسمی بکار می‌رود.

۸. افق محسوس^۳

صفحه‌ای که بر محل استقرار ناظر گذشته و بر امتداد خط شاقول و یا جهت جاذبه زمین^۴ عمود باشد، افق محسوس، نامیده می‌شود. با این توصیف، صفحه افق محسوس، بر سطح زمین مماس بوده، بر خط واصل بین سمت الرأس و سمت‌القدم در نقطه استقرار ناظر، عمود است. صفحه افق محسوس، بعنوان سطح مبنا^۵ در موارد فنی و علمی در نظر گرفته می‌شود. چنانکه در شکل (۵-۶) نشان داده شده است، صفحه افق

1. Nautical Mile

2. Admiralty Mile

3. Sensible Horizon

4. Direction of Gravity

5. Reference Plane

محسوس، بموازات صفحه افق سماوی است.

۹. افق مرئی^۱

خطی که از تلاقی زمین و آسمان در نظر گرفته می شود، افق مرئی و یا افق ظاهری^۲ نامیده می شود. بعبارت دیگر، افق مرئی، حد زمین های مجاور ناظر است که در دوردست برای او قابل رؤیت می باشد. افق مرئی برحسب ارتفاع محل ناظر و یا شکل پستی و بلندیهای آن، می تواند بصورت صاف و یا ناصاف بوده، در فاصله نزدیک و یا دور قرار داشته باشد. بعلاوه شکست نور در اتمسفر کره زمین، می تواند شکل افق مرئی را تغییر بدهد و موجب گردد تا برای ناظر امکان داشته باشد ماورای نقاطی را که از نظر هندسی، قابل رؤیت نیستند، ببیند. افق مرئی در شکل (۵-۶) برای ناظر واقع در نقطه M نشان داده شده است.

۱۰. شیب افق^۳

چنانکه بر ارتفاع محل ناظر از نقطه M، باندازه فاصله h افزوده شود ($MM' = h$)، خط دید ناظر در افق و یا خط افق مرئی نسبت به افق محسوس، شیب پیدا می کند. زاویه بین افق محسوس و افق مرئی، شیب افق، نام دارد، شکل (۵-۶). چنانکه ناظری در ارتفاعی برابر h فوت از سطح زمین قرار گرفته باشد، فاصله او تا خط افق مرئی (d) برحسب مایل دریایی، برابر است با:

$$d = \sqrt{\frac{r \times h}{2}} \quad (۶-۱)$$

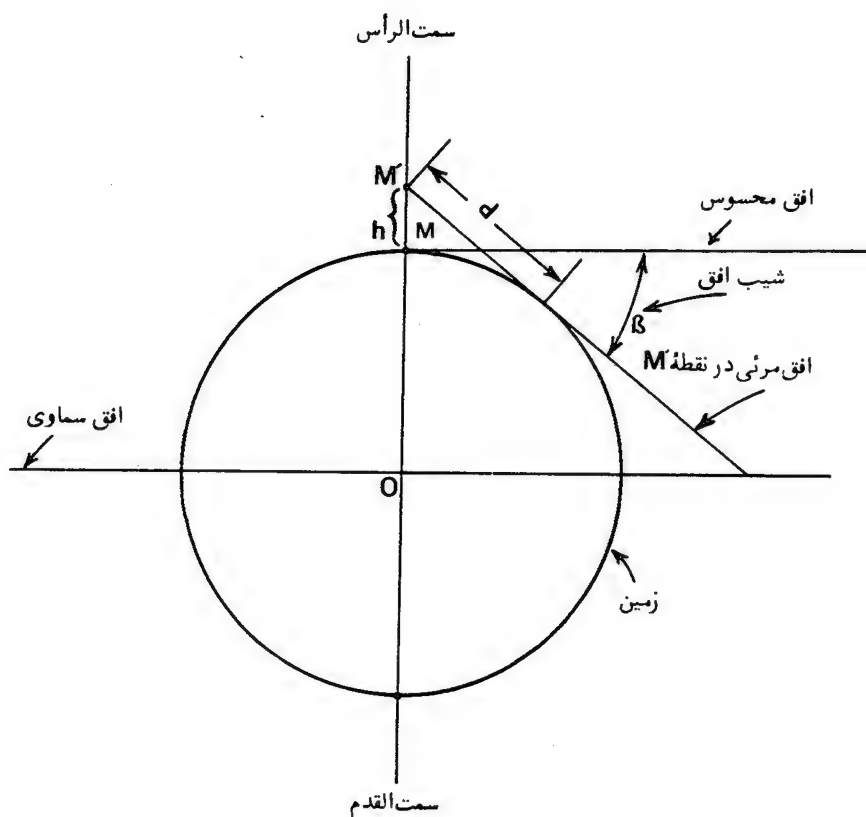
مقدار شیب افق (β) برحسب دقیقه قوسی، برابر است با:

$$\beta = \frac{3438}{3960} \sqrt{\frac{rh}{2}} \quad (۶-۲)$$

و یا

$$\beta = \frac{3438}{3960} d \simeq d \quad (۶-۳)$$

بنابراین فاصله ناظر تا خط افق مرئی، برحسب مایل دریائی، برابر شیب افق برحسب دقیقه قوسی است.



شکل (۵-۶) - نمایش افق‌های مختلف در محل ناظر در نقطه‌ای مانند M.

۱۱. دایره ارتفاع

دایره ارتفاع و یا دایره عمودی، به دایره عظیمه‌ای گفته می‌شود که بر روی کره سماوی قرار داشته و از سمت الرأس و سمت القدم ناظر بگذرد. بدین ترتیب دایره‌های ارتفاع، بر افق سماوی عمودند.

۱۲. نصف النهار سماوی^۱

نصف النهار سماوی یک ناظر، دایره عظیمه ای است که از سمت الرأس و سمت-القدم ناظر و قطبهای سماوی می گذرد. بنابراین نصف النهار سماوی، دایره عمودی است که از قطبهای سماوی هم می گذرد. در شکل (۴-۶)، دایره (HEHQ) نصف النهار سماوی است.

بر روی سطح زمین، نصف النهارات، خطوطی فرضی اند که از قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی گذشته و همه جا در امتداد شمال و جنوب جغرافیایی واقعند. بنابراین خط نصف النهار یک ناظر، همان امتداد شمال و جنوب جغرافیایی است که از محل ناظر، می گذرد. در حقیقت خط شمال و جنوب جغرافیایی، از تلاقی دایره نصف النهار با صفحه افق بدست می آید.

۱۳. سطح نصف النهار اصلی^۲

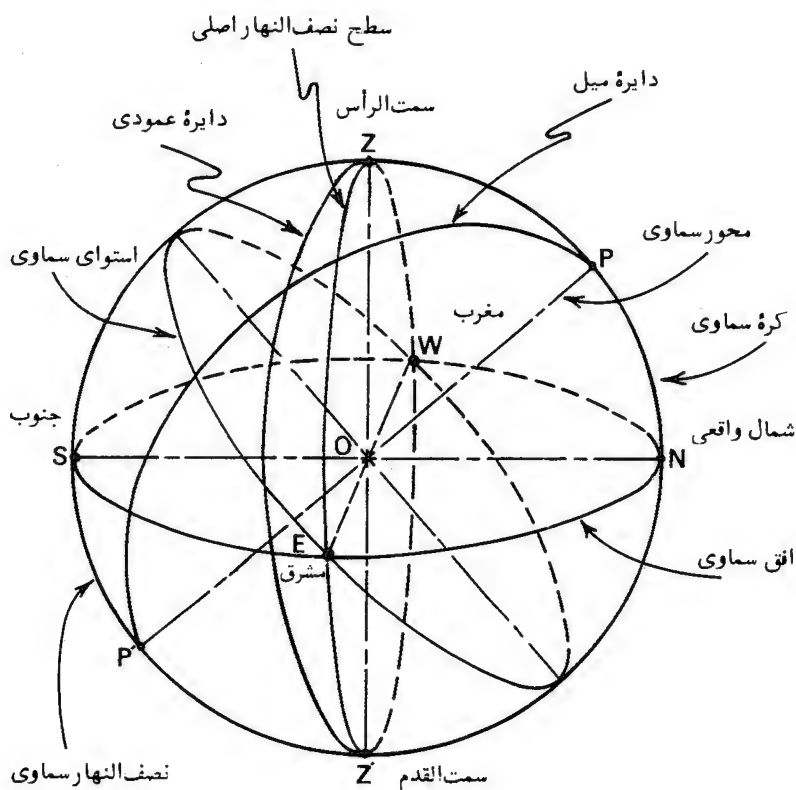
سطح نصف النهار اصلی، دایره عظیمه ای است که صفحه آن بر صفحه نصف النهار سماوی عمود است و از نقاط سمت الرأس، سمت القدم و نقاط مشرق و مغرب واقعی، می گذرد. بنابراین سطح نصف النهار اصلی، دایره عمودی است که بر دایره نصف النهار سماوی عمود می باشد.

خطی که نقاط مغرب و مشرق واقعی را به همدیگر متصل می کند از تلاقی سطح نصف النهار اصلی با صفحه افق بدست می آید. همچنین این خط، از فصل مشترک صفحه استوای سماوی با صفحه افق تشکیل می گردد.

۱۴. جهت های شمال، جنوب، مغرب و مشرق واقعی

چنانکه در فصل دوم تشریح شد، اصطلاح شمال واقعی^۳، به منظور تمایز از شمال مغناطیسی بکار می رود. نقاط شمال و جنوب واقعی و یا جغرافیایی از تصویر قطبهای جغرافیایی بر سطح افق بدست می آیند. خط نصف النهار ناظر، محل تلاقی صفحه نصف النهار ناظر و صفحه افق است که در دو سوی آن، نقاط شمال و جنوب

جغرافیایی قرار دارد. در شکل (۶-۶) جهت از نقطه Z به نقطه P که بر صفحه افق تصویر گردد، جهت شمال و برعکس جهت از نقطه P به نقطه Z، جهت جنوب است. خط مشرق-مغرب واقعی از برخورد سطح نصف النهار اصلی با سطح افق بدست می‌آید. نقاط مشرق و مغرب واقعی، در دو انتهای این خط قرار دارند. از آنجایی که صفحه نصف النهار سماوی، هم بر صفحه افق و هم بر صفحه استوای سماوی عمود است، بنابراین محل برخورد دایره استوای سماوی و دایره افق نیز نقاط مشرق و مغرب واقعی را تشکیل می‌دهند، شکل (۶-۶). در این شکل ناظر در نقطه O در مرکز کره سماوی و بعضی از دایره‌های عظیمه مهم، بر روی کره سماوی نمایانده شده است.



شکل (۶-۶) — بعضی از دایره‌های عظیمه مهم و نقاط شمال، جنوب، مغرب و مشرق واقعی بر روی کره سماوی.

۱۵. عرض جغرافیایی^۱

فاصله زاویه ای هر نقطه ای بر روی سطح زمین از دایره استوا، عرض جغرافیایی (φ) نامیده می شود. عرض جغرافیایی، در امتداد نصف النهار محل اندازه گیری شده و بسته به اینکه محل در شمال دایره استوا قرار داشته باشد با کلمه شمالی و یا علامت (+) و در صورتیکه در جنوب آن قرار داشته باشد، با کلمه جنوبی و یا علامت (-) مشخص می گردد. همچنین زاویه بین سمت الرأس و استوای سماوی در یک محل، برابر عرض جغرافیایی محل است، شکل (۴-۶).

۱۶. متمم عرض جغرافیایی^۲

متمم عرض جغرافیایی، چنانکه از اسمش پیداست برابر با ($90^\circ - \varphi$) است. همچنین زاویه بین سمت الرأس و قطب سماوی برابر متمم عرض جغرافیایی است.

۱۷. طول جغرافیایی^۳

زاویه بین نصف النهار هر محل و نصف النهار مبده^۴، که نصف النهار ثابتی است، طول جغرافیایی محل، نامیده می شود. نصف النهار مبده که در سطح جهان مورد قبول قرار گرفته، نصف النهار گرینیچ است. نصف النهار نقاط مختلف، از صفر تا 180° درجه در مشرق و یا مغرب نصف النهار مبده تغییر می کند.

۱۸. ارتفاع^۵

ارتفاع یک جرم سماوی (مانند خورشید و یا یک ستاره) برابر با فاصله زاویه ای آن، از سطح افق است که در امتداد دایره عمودی که از آن می گذرد، اندازه گیری می شود، شکل (۷-۶). در این شکل، ارتفاع، با حرف (a) نشان داده شده است.

1. Latitude

2. Co-latitude

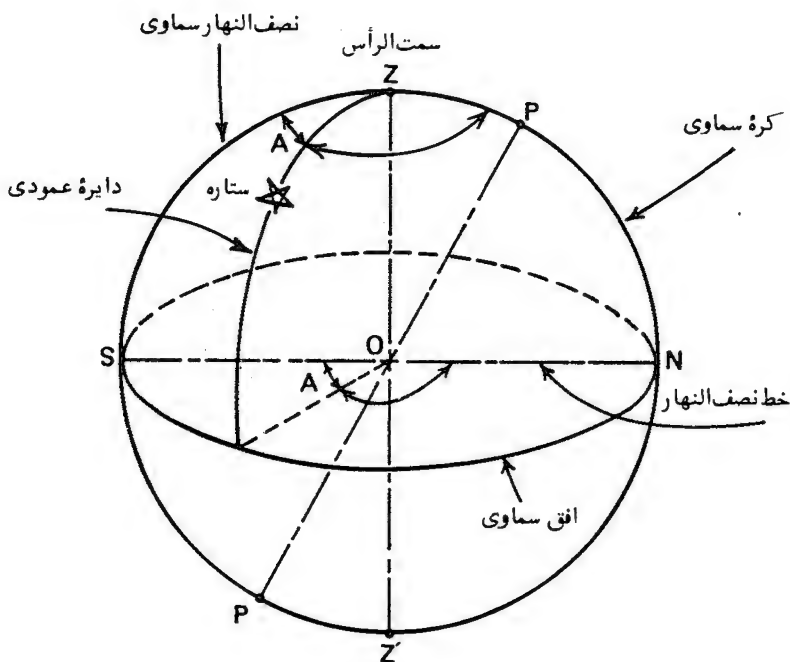
3. Longitude

4. Prime (First) Meridian

5. Altitude

۲۰. سمت^۱

زاویه بین نصف النهار سماوی ناظر و دایره عمودی که از یک جرم سماوی می گذرد، سمت جرم سماوی نامیده می شود. در شکل (۶-۸) سمت با حرف (A) نمایانده شده است.



شکل (۶-۸) — سمت یک جرم سماوی.

۲۱. دایره میل^۲ و یا دایره ساعتی^۳

دایره میل و یا دایره ساعتی یک جرم سماوی، به دایره عظیمه ای اطلاق می شود که از جرم سماوی و قطبهای سماوی گذر کرده و صفحه آن بر سطح دایره استوای سماوی

1. Azimuth

2. Declination Circle

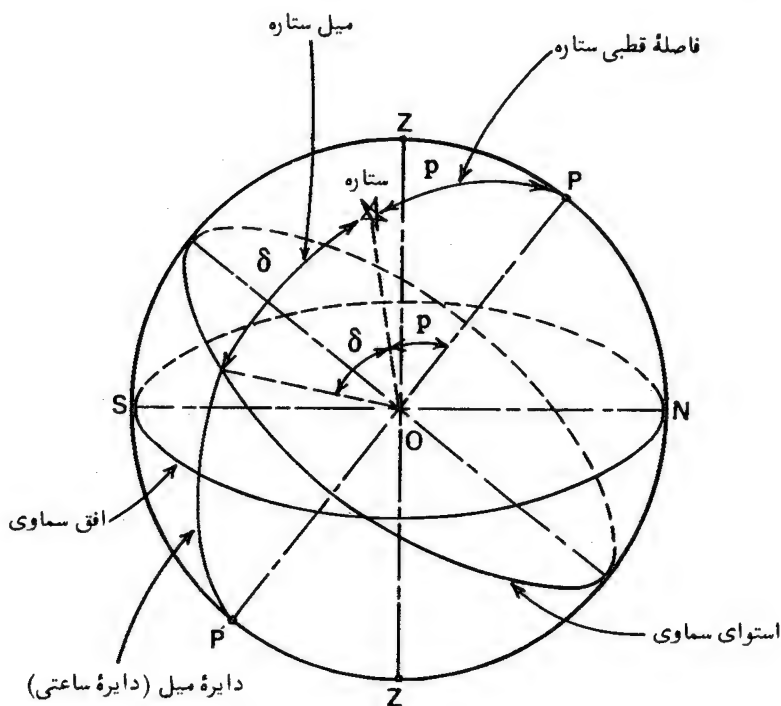
3. Hour Circle

عمود باشد، شکل (۹-۶).

۲۲. میل

فاصله زاویه‌ای یک جرم سماوی از استوای سماوی در امتداد دایره میل، میل نامیده می‌شود.

در شکل (۹-۶)، میل یک ستاره با حرف (δ) مشخص شده است. اندازه میل یک جرم سماوی می‌تواند از صفر تا ۹۰ درجه تغییر کند و علامت آن در صورتیکه جرم سماوی در شمال استوای سماوی قرار گرفته باشد، مثبت (+) و در صورتیکه در جنوب آن باشد، منفی (-) است. مقادیر میل خورشید، بعداً در همین فصل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



شکل (۹-۶) — دایره میل (دایره ساعتی)، میل و فاصله قطبی یک ستاره.

حرف (h) نشان داده شده است. می‌بایست در مورد مبدا اندازه‌گیری زاویه ساعتی دقت کرد که در موارد گوناگون، متفاوت است. در این شکل زاویه ساعتی از امتداد جنوبی نصف‌النهار سماوی، بطرف مشرق در نظر گرفته شده است.

اما همیشه در نیمکره شمالی، زاویه ساعتی، بطرف مغرب در نظر گرفته می‌شود که در این صورت چنانکه ستاره، در قسمت نیمکره غربی کره سماوی باشد، زاویه ساعتی آن از صفر تا ۱۸۰ درجه، و در صورتیکه در نیمکره شرقی کره سماوی باشد، زاویه ساعتی آن از ۱۸۰ تا ۳۶۰ درجه است.

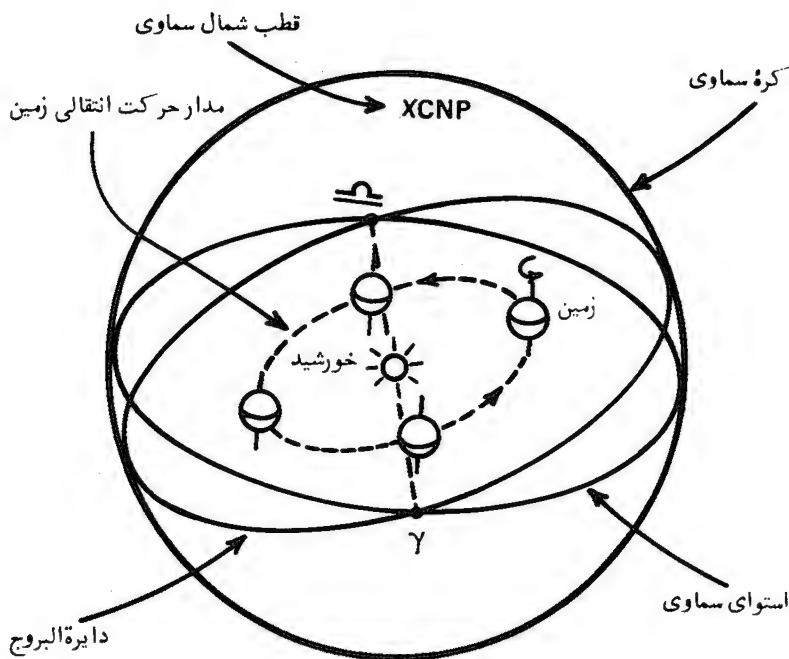
در صورتیکه زاویه ساعتی، بطرف مغرب در نظر گرفته شود علامت آن مثبت (+) و به طرف مشرق علامت آن منفی (-) است. گاهی هم بر حسب مورد، زاویه ساعتی بطرف مشرق و یا مغرب بدون توجه به علامت، در نظر گرفته می‌شود. همچنین زاویه ساعتی را می‌توان نسبت به امتداد شمالی نصف‌النهار سماوی نیز سنجید.

۲۵. دایرة البروج'

زمین در مدت یک سال شمسی یک بار به دور خورشید در جهت مغرب به مشرق می‌چرخد. در نتیجه، چنانکه یک ناظر زمینی بتواند وضعیت خورشید را نسبت به ستارگان آسمان، در مدت یکسال در نظر داشته باشد، ظاهراً چنین خواهد پنداشت که این خورشید بوده که در مدت یکسال شمسی یک بار به دور زمین گشته است. مسیر حرکت ظاهری سالانه خورشید به دور زمین را دایرة البروج می‌نامند.

بعبارت دیگر، دایرة البروج، دایرة عظیمه‌ای است که بر روی کره سماوی قرار دارد و حرکت ظاهری سالانه خورشید به دور زمین، بر روی آن، صورت می‌گیرد. همچنین چنانکه ناظری فرضی در خورشید، بتواند نظاره‌گر زمین باشد، مسیر حرکت انتقالی زمین به دور خورشید را در مسیر همان دایرة البروج خواهد دید. به همین علت، دایرة البروج بصورت دیگری نیز تعریف می‌شود: بدین ترتیب که محل تلاقی صفحه مسیر حرکت انتقالی زمین با کره سماوی را نیز دایرة البروج می‌گویند، شکل (۱۱-۶).

از آنجایی که محور چرخشی زمین بر سطح مدار حرکت انتقالی آن عمود نیست، لذا تصویر این مسیر بر کره سماوی، یعنی دایرة البروج، بر محور سماوی، عمود نمی‌باشد بلکه نسبت به آن متمایل است. زاویه بین صفحه دایرة البروج و دایرة استواء، در حدود



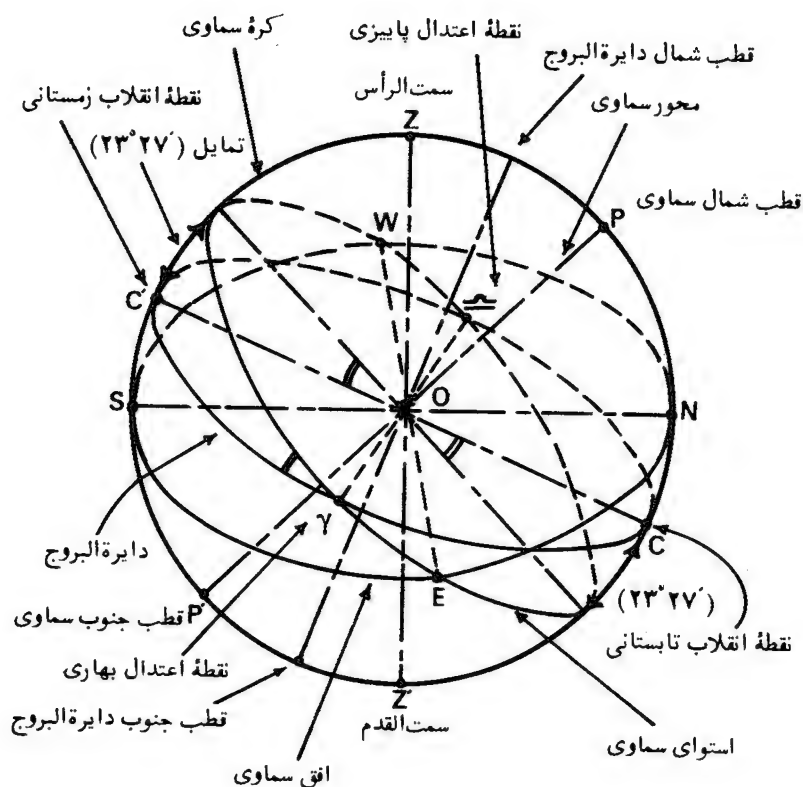
شکل (۶-۱۱) - دایرة البروج بر روی کره سماوی محل تلافی صفحهٔ مسیر حرکت انتقالی زمین با کره سماوی، دایرة البروج نامیده می شود.

۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه است و به نام تمایل^۱ نامیده می شود، شکل (۶-۱۲). اندازهٔ این زاویه در طول یک قرن، باندازهٔ ۴۷ ثانیه کم می شود. اندازهٔ متوسط تمایل در سال ۱۹۷۲ برابر ۲۳ درجه و ۲۶ دقیقه و ۳۴/۵۲ ثانیه بوده است. محوری که از مرکز کره سماوی گذشته و بر سطح دایرة البروج عمود باشد، کره سماوی را در دو نقطه به نامهای قطب شمال دایرة البروج^۲ و قطب جنوب دایرة البروج^۳ قطع می کند، شکل (۶-۱۲).

۲۶. نقاط اعتدال^۴

دایرة البروج و دایرة استوای سماوی بر روی کره سماوی، همدیگر را در دو نقطه

1. Obliquity
2. North Pole of the Ecliptic
3. South Pole of the Ecliptic
4. Equinoctial Points



شکل (۶-۱۲) — نقاط اعتدال و انقلاب، قطبها و تمایل دایرة البروج.

به نام نقاط اعتدال قطع می کنند. میل خورشید بهنگام عبور از نقاط اعتدال برابر صفر درجه می شود.

در شکل (۶-۱۲) نقاط اعتدال نشان داده شده است. یکی از نقاط اعتدال، به اعتدال بهاری (نقطه γ) موسوم بوده و میل خورشید بعد از عبور از آن از جنوبی به شمالی و یا از علامت منفی به مثبت تغییر می یابد. فصل بهار در لحظه عبور خورشید از نقطه اعتدال بهاری آغاز می گردد.

گرچه می توان نقطه اعتدال بهاری بر روی کره سماوی را نقطه ثابتی فرض کرد، اما محل آن بر روی دایرة البروج سالیانه باندازه $۵۰/۲۶$ ثانیه قوسی بطرف مغرب تغییر.

مکان می دهد و در نتیجه، این تغییر خود موجب تغییر مختصات ستارگانی که نسبت به این نقطه سنجیده می شوند، می گردد.

نقطه دیگر به اعتدال پاییزی^۱ (♏) موسوم است و میل خورشید بعد از عبور از آن از شمالی به جنوبی و یا علامت آن از مثبت به منفی تغییر می کند. فصل پاییز در لحظه عبور خورشید از نقطه اعتدال پاییزی شروع می شود. فاصله زمانی بین دو نقطه اعتدال، در حدود شش ماه است.

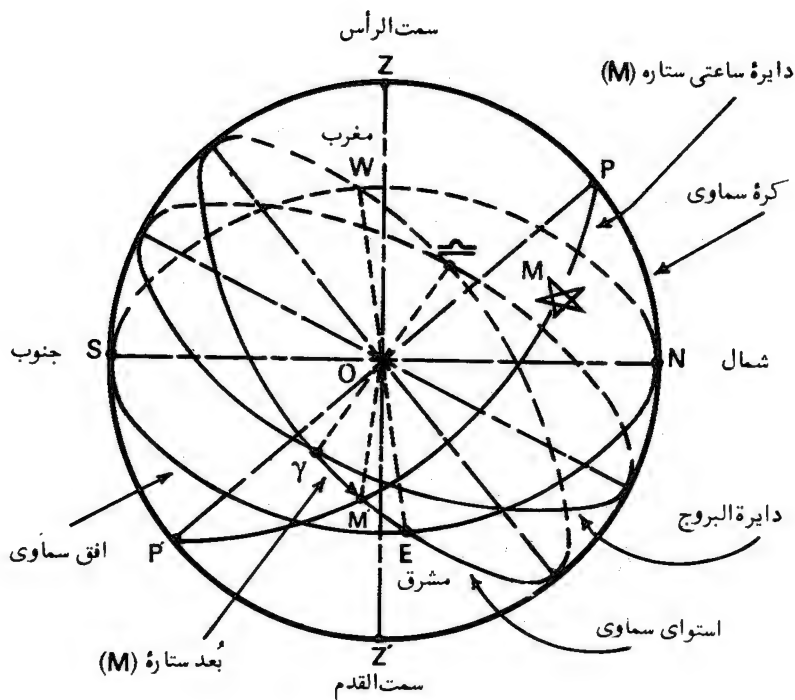
۲۷. نقاط انقلاب^۲

نقاط انقلاب بر روی دایرة البروج، دو نقطه ای است که میل خورشید بهنگام عبور از آنها بیشترین اندازه شمالی و یا جنوبی (مثبت و یا منفی) را داراست. در شکل (۱۲-۶)، خورشید در نقطه C دارای بیشترین میل بطرف شمال ($23^{\circ}/45^{\circ}$ +) است که این نقطه، به نام انقلاب تابستانی^۳ معروف است. عبور خورشید از این نقطه، سرآغاز فصل تابستان در نیمکره شمالی (فصل زمستان در نیمکره جنوبی) است. خورشید در نقطه C' دارای بیشترین میل بطرف جنوب ($23^{\circ}/45^{\circ}$ -) بوده و این نقطه به انقلاب زمستانی^۴ موسوم است. عبور خورشید از نقطه C'، سرآغاز فصل زمستان در نیمکره شمالی (فصل تابستان در نیمکره جنوبی) است. بنابراین در نیمکره جنوبی، نقطه C' معرف انقلاب تابستانی و نقطه C معرف انقلاب زمستانی و درست عکس حالت نیمکره شمالی است.

۲۸. بُعد

بُعد یک جرم سماوی باندازه زاویه ای کمانی از استوای سماوی گفته می شود که از نقطه انقلاب بهاری بطرف مشرق تا دایره ساعتی (میل) جرم سماوی، اندازه گیری می شود. در شکل (۱۳-۶) کمان γM بُعد ستاره (M) است.

- | | |
|--|--------------------|
| 1. Autumnal Equinox (the First Point of Libra) | 2. Solstices |
| 3. Summer Solstice | 4. Winter Solstice |
| | 5. Right Ascension |



شکل (۶-۱۳) — بُعد یک جرم سماوی بر روی استوای سماوی.

۲۹. دایره اعتدال^۱

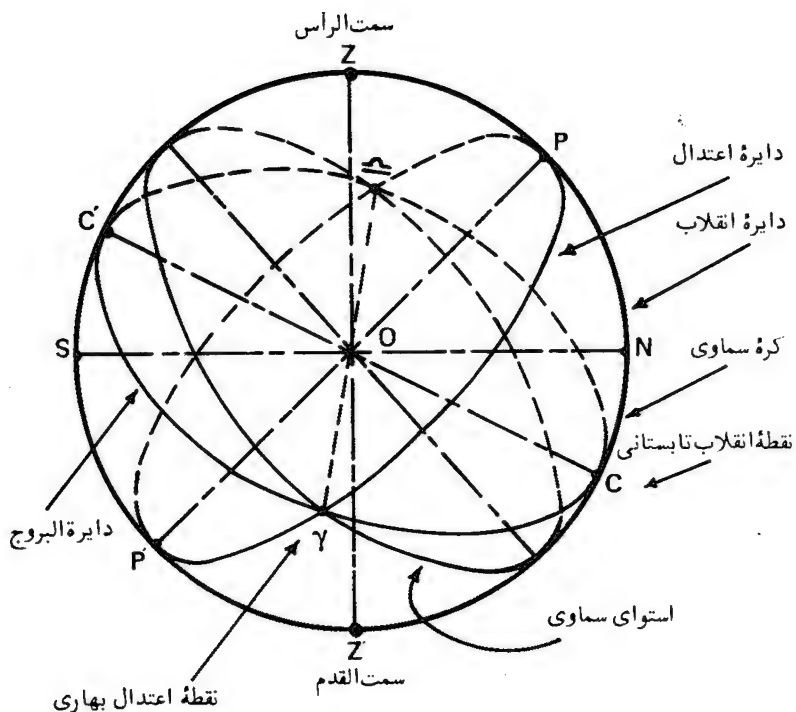
دایره عظیمه‌ای که از نقاط اعتدال و قطبهای شمال و جنوب سماوی می‌گذرد، دایره اعتدال نامیده می‌شود. عبارت دیگر دایره اعتدال، دایره ساعتی نقطه اعتدال بهاری است، شکل (۶-۱۴).

۳۰. دایره انقلاب^۲

دایره انقلاب دایره عظیمه‌ای است که سطح آن بر سطح دایره اعتدال عمود

1. Equinoctial Colure

2. Solstitial Colure



شکل (۶-۱۴) - دایره های اعتدال و انقلاب بر روی کره سماوی.

بوده و از قطبهای سماوی، سمت الرأس و سمت القدم ناظر می گذرد. در شکل (۶-۱۴)، $SZPNZP'$ ، دایره انقلاب است.

۳۱. زمین'

شکل سیاره زمین تقریباً بصورت کره در نظر گرفته می شود، اما چنین نتیجه گیری شده است که در بیشتر موارد می توان با دقت، شکل آن را بصورت شبه کره^۲ و یا کره پهن شده فرض کرد. کره پهن شده از دوران یک بیضی حول محور اقصر^۳ آن بدست می آید. پهن شدگی سیاره زمین در قطبهای آن است، طول قطر آن در امتداد محور چرخشی، کوتاهتر از طول قطر آن در ناحیه استوایی است. طول قطر چرخشی زمین

1. The Earth

2. Oblate Spheroid

3. Minor Axis

در حدود ۶۳۵۶/۹۱۲ کیلومتر و قطر استوایی آن در حدود ۶۳۷۸/۳۸۸ کیلومتر است. پهن‌شدگی^۱ و یا فشردگی زمین و یا هر جسم پختی^۲ با کمیتی به نام بیضویت^۳ بیان می‌شود. چنانکه (a) نصف قطر اطول^۴ زمین فشرده شده و (b) نصف قطر اقصر^۵ آن باشد، بیضویت (e) مطابق تعریف با فرمول زیر بیان می‌شود:

$$e = \frac{a - b}{a} \quad (۶-۴)$$

بنابراین بیضویت نسبت تفاوت قطرهای اطول و اقصر و قطر اطول است که بصورت یک کسر نشان داده می‌شود. اندازه بیضویت زمین، بصورت عملی تعیین شده و تقریباً در حدود $\frac{1}{297}$ است.

شکل زمین در موضوع قبله‌یابی حایز اهمیت می‌باشد و به همین دلیل فصل هشتم کتاب به بررسی شکل زمین اختصاص یافته است.

۳۲. دستگاه مختصات زمینی^۶

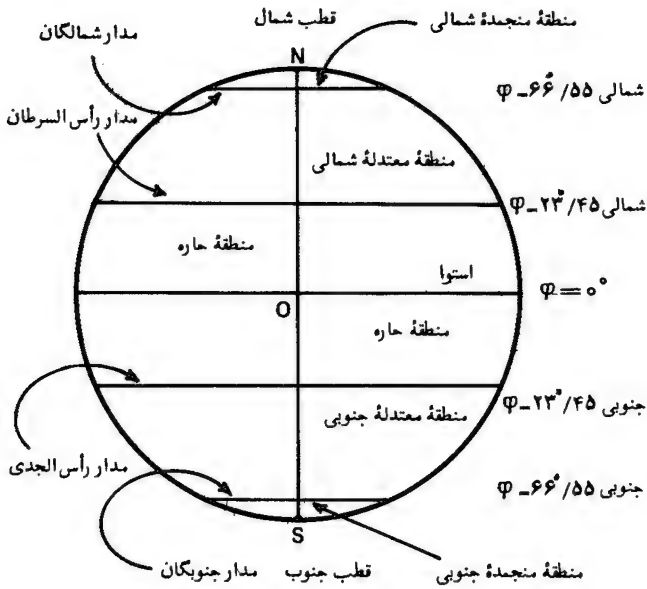
معمولاً برای مشخص کردن وضعیت یک نقطه بر روی یک سطح مسطح، از دو مشخصه، یکی به نام طول^۷ در امتداد محور (x) و دیگری به نام عرض^۸ در امتداد محور (y)، عمود بر محور x، استفاده می‌شود.

برای مشخص ساختن وضعیت یک نقطه بر روی کره زمین، از دستگاه طول و عرض^۹ استفاده می‌شود. در این دستگاه از دو سطح اصلی، بعنوان مبنا استفاده می‌شود: یکی از سطوح مبنا، سطح دایره استوا است و دیگری سطح دایره عظیمه‌ای که از قطبهای جغرافیایی و گرینیچ می‌گذرد (نصف‌النهار گرینیچ). این سیستم مختصات زمینی در فصل اول کتاب، بطور کامل تشریح شده است.

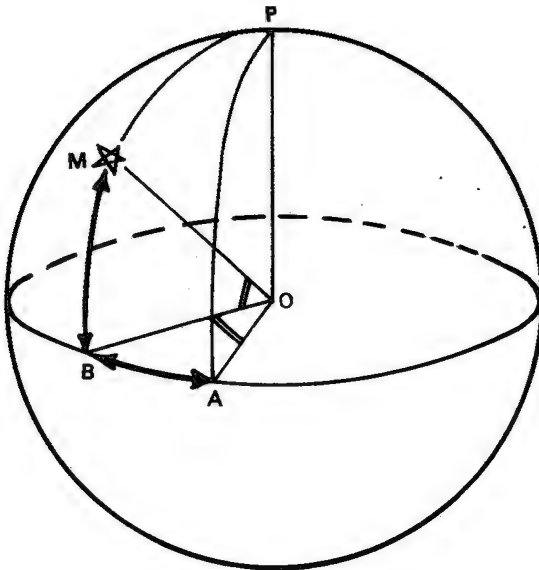
۳۳. مناطق زمین^{۱۰}

سطح زمین به پنج منطقه تقسیم شده است. در این طبقه‌بندی هر منطقه بیان-

- | | | | |
|--------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------|
| 1. Flattening | 2. Oblate | 3. Ellipticity | 4. Semi-Major Axis |
| 5. Semi-Minor Axis | 6. Terrestrial Coordinate System | 7. Abscissa | |
| 8. Ordinate | 9. Latitude—Longitude System | 10. Zones of the Earth | |



شکل (۶-۱۵) - مناطق پنجگانه زمین.



شکل (۶-۱۶) - مختصات کروی نقطه M بر روی یک کره. زاویه های AOB و BOM و یا کمانهای \widehat{BM} و \widehat{AB} مختصات کروی نقطه M هستند.

کننده شرایط آب و هوای خاص آنست که برحسب مدارات معین، مشخص می‌شوند.
مدار $۲۳^{\circ}/۴۵'$ شمالی، به نام مدار رأس السرطان^۱ و مدار $۲۳^{\circ}/۴۵'$ جنوبی به نام مدار رأس الجدی^۲ معروفند. کمربندی از سطح زمین که بین مدار رأس السرطان و مدار رأس الجدی قرار دارد به منطقه حاره^۳ موسوم است. این منطقه گرمترین قسمت سطح زمین است.

کمربند واقع بین مدار $۲۳^{\circ}/۴۵'$ شمالی و مدار $۶۶^{\circ}/۵۵'$ شمالی، به منطقه معتدله شمالی^۴ موسوم است. همچنین کمربند واقع بین مدار $۲۳^{\circ}/۴۵'$ جنوبی و مدار $۶۶^{\circ}/۵۵'$ جنوبی، منطقه معتدله جنوبی^۵ نامیده می‌شود. آب و هوای مناطق معتدله شمالی و جنوبی، معتدل است.

مدار $۶۶^{\circ}/۵۵'$ شمالی، مدار شمالگان^۶ نامیده می‌شود و نواحی واقع در شمال این مدار به منطقه منجمده شمالی^۷ موسوم است. مدار $۶۶^{\circ}/۵۵'$ جنوبی مدار جنوبگان^۸ نامیده شده و نواحی واقع در جنوب این مدار به منطقه منجمده جنوبی^۹ موسوم است. مناطق منجمده شمالی و جنوبی، سردترین مناطق زمین‌اند. مناطق پهنجانه زمین در شکل (۱۵-۶) نشان داده شده است.

۳۴. دستگاه‌های مختصات نجومی^۱

مانند آنچه که در مورد دستگاه مختصات زمینی بیان شد، وضعیت اجرام سماوی بر روی کره سماوی، بوسیله دستگاه‌های مختصات، مشخص می‌شود. بطور کلی وضعیت یک جرم سماوی بر روی کره سماوی را می‌توان توسط مختصات کروی^{۱۱} مشخص کرد. در اینحالت دو فاصله زاویه‌ای^{۱۲} در امتداد دو کمان از دو دایره عظیمه که عمود بر یکدیگرند، مشخص می‌شوند. یکی از دوایر عظیمه، به نام دایره اولیه^{۱۳} مبنای^{۱۴} و دیگری به نام دایره ثانویه^{۱۵} مبنای^{۱۶} موسوم‌اند. برای مثال، در شکل (۱۶-۶)، وضعیت نقطه^{۱۷} M بعنوان یک جرم سماوی، بر روی کره‌ای به مرکز O (مبداء مختصات) را می‌توان نسبت

- | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| 1. Tropic of Cancer | 2. Tropic of Capricorn | 3. Torrid Zone |
| 4. The North Temperate Zone | 5. The South Temperate Zone | |
| 6. Arctic Circle | 7. North Frigid Zone | 8. Antarctic Circle |
| 9. South Frigid Zone | 10. Astronomical Coordinate Systems | |
| 11. Spherical Coordinates | 12. Angular Distance | |
| 13. Primary Circle of the Reference | 14. Secondary Circle of the Reference | |

به صفحه OAB و خط OA مشخص کرد. چنانکه صفحه ای بر خط OM طوری عبور داده شود که بر صفحه OAB عمود باشد، OB فصل مشترک دو صفحه عمود بر هم خواهد بود. در نتیجه زاویه های $\angle AOB$ و $\angle BOM$ و یا کمانهای \widehat{AB} و \widehat{BM} مختصات کروی نقطه M هستند.

مختصات کروی را می توان برای مشخص کردن وضعیت اجرام سماوی بر روی کره سماوی، بکار برد. ناظر در مرکز کره سماوی قرار می گیرد. شعاع کره سماوی نامشخص است و اجرام سماوی بر سطح داخلی کره تصویر می شوند. بدین ترتیب کره سماوی وجود خارجی نداشته، فقط برای مشخص کردن جهت اجرام سماوی در فضا بکار گرفته می شود.

فواصل اغلب اجرام سماوی تا زمین تقریباً مشخص است، ولی فاصله یک جرم سماوی خاص را نمی توان بفوریت معلوم ساخت و لذا نمی توان از میزان فاصله یک جرم سماوی برای مشخص کردن آن استفاده کرد. بنابراین بهنگام رصد یک جرم سماوی، می توان فاصله آن را تا ناظر، بصورت نامشخص در نظر گرفت و عبارت دیگر می توان آن را بر کره سماوی تصویر کرد.

دستگاه مختصات کروی بر روی کره سماوی، همانند دستگاه مختصات زمینی یعنی طول و عرض جغرافیایی است؛ با این تفاوت که در مورد مختصات زمینی، زمین از طرف خارج آن در نظر گرفته شده است در حالیکه در مختصات کروی، کره سماوی از طرف داخل آن در نظر گرفته می شود. در هریک از دستگاههای مختصات که بر مبنای مختصات کروی استوار است، دو قطب در دوسر یک قطر از کره سماوی در نظر گرفته می شود. یکی از قطبها، قطب شمال سماوی است که درست بالای قطب شمال جغرافیایی زمین قرار دارد و دیگری قطب جنوب سماوی است و دایره اولیه مبنا با فاصله ۹۰ درجه از هر کدام از قطبها در نظر گرفته می شود. در چنین حالتی، مختص عرضی^۱ یک جرم سماوی، برابر فاصله زاویه ای آن از دایره اولیه بطرف شمال و یا جنوب آن است. دوائر صغیره ای که به موازات دایره اولیه در نظر گرفته می شوند، به مدارات^۲ موسوم اند. مختص طولی^۳ یک جرم سماوی توسط اندازه زاویه ای کمانی از دایره اولیه بین دایره ثانویه و دایره عظیمه ای که از جرم سماوی و قطبهای سماوی می گذرد، محصور است، مشخص می گردد.

بطور کلی وضعیت اجرام سماوی را می‌توان توسط دستگاه‌های مختصات نجومی زیر مشخص ساخت:

۱. دستگاه افقی^۱

۲. دستگاه استوایی (معدلی) مستقل^۲

۳. دستگاه استوایی (معدلی) وابسته^۳

۴. دستگاه عرض و طول سماوی^۴

۵. دستگاه کهکشانی^۵

از میان این دستگاه‌های مختصات، دستگاه افقی، تابع وضعیت مکانی ناظر بر روی کره زمین است. در حالیکه دستگاه استوایی مستقل، تابع وضعیت مکانی ناظر نیست و دستگاه را می‌توان برای هر ناظری بر روی کره زمین بکار برد. در دستگاه استوایی وابسته، یکی از دایره‌های عظیمه مبنا مستقل از وضعیت مکانی ناظر بوده و دایره عظیمه دیگر که عمود بر دایره عظیمه قلی است، تابع وضعیت مکانی ناظر است.

۱-۳۴. دستگاه افقی

دستگاه افقی نسبت به ناظر مشخص می‌شود. در این دستگاه، قطبها عبارتند از سمت الرأس و سمت‌القدم ناظر. مختص عرض در این دستگاه، در صورتیکه نسبت به سطح افق و بطرف بالا اندازه‌گیری شود، ارتفاع، و در صورتی که از سمت الرأس بطرف پایین اندازه‌گیری شود، فاصله سمت الرأس نامیده می‌شود. در این دستگاه مختصات، دوایر صغیره واقع بر روی کره سماوی، که سطح آنها با سطح افق ناظر موازی است، مدارات هم‌ارتفاع^۶ نامیده می‌شوند؛ چه، اجرام سماوی واقع بر چنین مدارهایی، دارای ارتفاع برابرند.

مختص طول، در دستگاه افقی، سمت نام دارد. سمت یک جرم سماوی نسبت به مبناهای مختلف اندازه‌گیری می‌شود، اما معمولاً نسبت به امتداد شمال جغرافیایی واقع بر افق ناظر، مورد سنجش قرار می‌گیرد.

1. Horizon System 2. The Independent Equatorial System

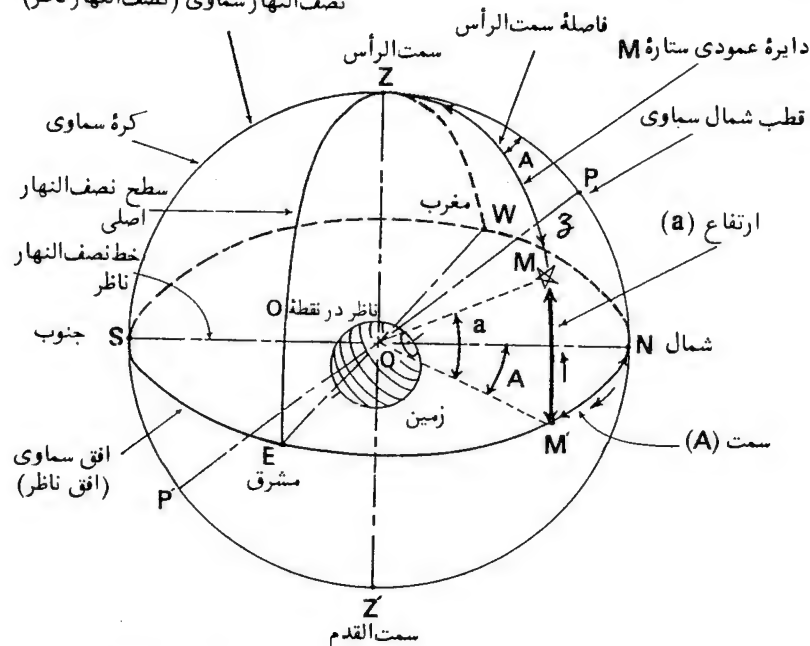
3. The Dependent Equatorial System

4. The Celestial Latitude and Longitude System

5. The Galactic System

6. Almucantars (Parallels of Equal Altitudes)

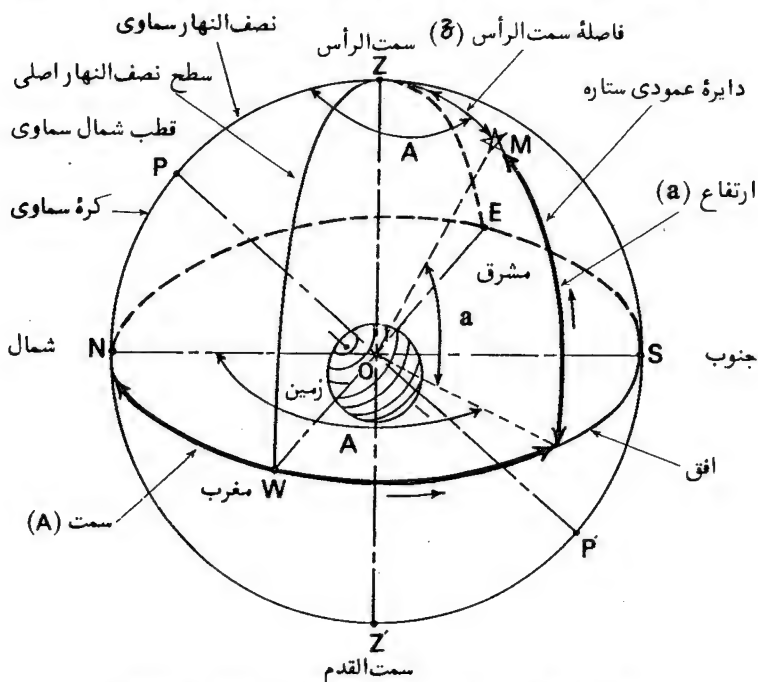
در شکل (۱۷-۶)، ستاره M در نیمکره شرقی کره سماوی قرار گرفته، سمت-الرأس ناظر در نقطه Z، محل ناظر و نقطه P قطب شمال سماوی است. دایره عمودی که از ستاره M می‌گذرد، دایره افق ناظر را در نقطه M' قطع کرده است. زاویه MOM' نصف النهار سماوی (نصف النهار ناظر)



شکل (۱۷-۶) - دستگاه مختصات نجومی افقی. ارتفاع و سمت ستاره M در نیمکره شرقی کره سماوی نشان داده شده است.

ارتفاع (a) ستاره M است که در امتداد دایره عمودی ستاره، نسبت به وضعیت ستاره در بالا و یا پایین سطح دایره افق اندازه گیری می شود. اندازه ارتفاع از صفر درجه، و قتی که ستاره، در سطح افق سماوی است تا ۹۰ درجه و قتی که در سمت الرأس ناظر است، تغییر می کند. مختص دیگر، زاویه کروی $\angle MZN$ ، سمت (A) ستاره M است که زاویه بین سطح نصف النهار ناظر و دایره عمودی ستاره است. همچنین زاویه $\angle NOM$ ، زاویه بین خط نصف النهار ناظر و پای دایره عمودی ستاره بر سطح افق، نیز سمت (A) ستاره است. به همین ترتیب، در شکل (۱۸-۶)، ارتفاع و سمت ستاره M، در نیمکره غربی کره سماوی نشان داده شده است. همیشه در نیمکره شمالی زمین، سمت اجرام سماوی از امتداد جهت شمال بطرف مشرق و یا مغرب، بسته به اینکه جرم سماوی در نیمکره شرقی و یا غربی کره سماوی قرار گرفته باشد، اندازه گیری می شود، در نیمکره جنوبی زمین، سمت اجرام سماوی از امتداد جهت جنوب به طرف مشرق و یا مغرب در نظر گرفته می شود.

در شکل‌های (۶-۱۷) و (۶-۱۸)، فاصله سمت الرأس ستاره M نیز نمایانده شده



شکل (۱۸-۶) — مختصات نجومی ستاره M واقع در نیمکره غربی کره سماوی.

$$Z = 90^\circ - a)$$

است، که در مواردی، بجای ارتفاع بکار می رود

۳۴-۲. دستگاه استوایی مستقل

دستگاه استوایی مستقل، به نام دستگاه میل و بُعد^۱ نیز نامیده می شود. این دستگاه مختصات، در کاتالوگ ستارگان و جداول و تقویمهای نجومی بکار می رود، چه مختصات کروی که در این دستگاه مورد استفاده قرار می گیرد، مستقل از وضعیت مکانی ناظر است. این دستگاه، در حقیقت امتداد هندسی دستگاه طول و عرض جغرافیایی است. قطبهای این دستگاه محل برخورد محور چرخشی زمین با کره سماوی یعنی قطبهای سماوی است. دایره اولیه مبنا، دایره استوای سماوی است و دایره ثانویه مبنا، دایره میل و یا دایره ساعتی است که قبلاً تعریف آن در مطلب شماره (۲۰) در این فصل داده شده است. مختص عرض، در دستگاه استوایی مستقل، میل و مدارات مربوط، به نام مدارات میل^۲ معروفند. مختص طول در این دستگاه مختصات، بُعد است که مبدأ آن نقطه اعتدال بهاری است. بُعد یک جرم سماوی از نقطه اعتدال بهاری، بطرف مشرق، از صفر تا ۳۶۰ درجه اندازه گیری می شود. بُعد یک ستاره، گاهی بر حسب ساعت، دقیقه و ثانیه زمانی نیز مشخص می شود، بنحوی که ۳۶۰ درجه برابر ۲۴ ساعت است.

در شکل (۱۹-۶)، بُعد و میل ستاره (M) در دستگاه مختصات نجومی استوایی مستقل، نشان داده شده است. کمان \widehat{YM} در امتداد دایره استوای سماوی از نقطه اعتدال بهاری (Y) بطرف مشرق تا دایره ساعتی ستاره M، بُعد ستاره است. همچنین زاویه بین دایره ساعتی، نقطه اعتدال بهاری (Y) و دایره ساعتی ستاره M در نقطه قطب شمال سماوی (P) و در جهت مشرق، بُعد ستاره است. در این شکل کمان \widehat{YP} قسمتی از دایره ساعتی نقطه اعتدال بهاری و کمان \widehat{PMM} قسمتی از دایره ساعتی (میل) ستاره M است و لذا کمان \widehat{YM} در امتداد استوای سماوی، بُعد آنست. همچنین زاویه کروی $\angle YPM$ نیز بُعد ستاره است.

میل (δ) ستاره M در شکل (۱۹-۶) عبارت از زاویه $\angle MOM'$ و یا کمان $\widehat{MM'}$ است که در امتداد دایره ساعتی بین ستاره و دایره استوای سماوی در نظر گرفته می شود.

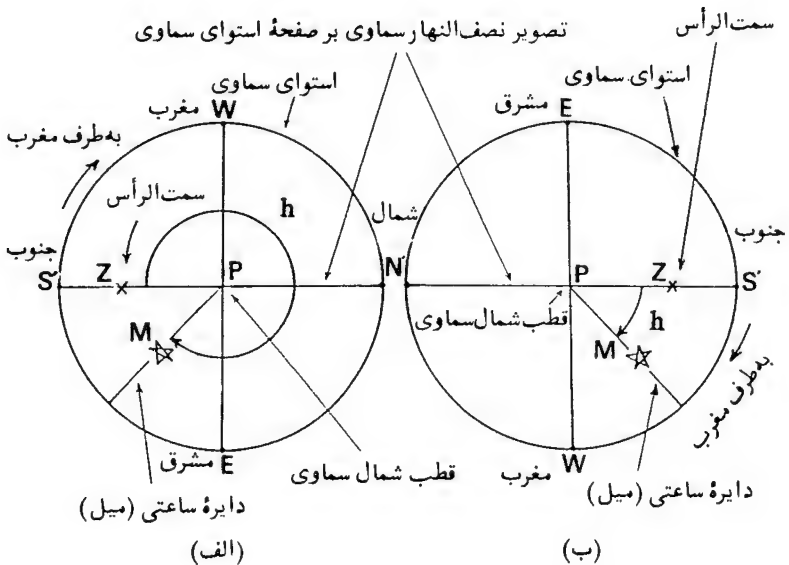
۳-۳۴. دستگاه استوایی وابسته

دستگاه استوایی وابسته، به نام دستگاه میل و زاویه ساعتی^۱ نیز نامیده می شود. در مواردی مناسبتر است که مختص طول در دستگاه استوایی مستقل، نسبت به خود ناظر سنجیده شود. برای این کار محل برخورد استوای سماوی با نصف النهار سماوی، بعنوان مبدأ طول در نظر گرفته می شود. در این صورت چنین دستگاه مختصات را، دستگاه استوایی وابسته می نامند که در آن یک مختص، وابسته به وضعیت ناظر بوده، دیگری مستقل از آن است. دو دایره عظیمه مبنا در این دستگاه مختصات، دایره استوای سماوی و دایره ساعتی (میل) جرم سماوی است که استوای سماوی دایره اولیه مبنا و دایره ساعتی، دایره ثانویه مبناست، در نیمکره شمالی، همیشه زاویه ساعتی از طرف جنوب، بسوی مغرب تا دایره میل، اندازه گیری می شود و اندازه آن از صفر درجه تا ۳۶۰ درجه می تواند باشد. چنانکه اندازه زاویه ساعتی از صفر تا ۱۸۰ درجه باشد، جرم سماوی در نیمکره غربی کره سماوی، و در غیر این صورت در نیمکره شرقی آن قرار خواهد داشت.

دستگاه مختصات نجومی استوایی وابسته در شکلهای (۲۰-۶) و (۲۱-۶) برای ستاره ای مانند M ، نمایانده شده است. مختص زاویه ساعتی (h)، اندازه زاویه ای کمان واقع بر دایره استوای سماوی است که بین نصف النهار سماوی ناظر و دایره ساعتی (میل) جرم سماوی، محصور است. همچنین زاویه کروی که در قطب شمال سماوی بین دایره ساعتی جرم سماوی و دایره نصف النهار سماوی ناظر، ایجاد می شود، همان زاویه ساعتی است. در شکل (۲۱-۶)، ستاره M در نیمکره غربی کره سماوی، قرار گرفته و لذا اندازه زاویه ساعتی بین صفر تا ۱۸۰ درجه است و در شکل (۲۰-۶) ستاره، در نیمکره شرقی کره سماوی بوده، اندازه زاویه ساعتی آن، بین ۱۸۰ تا ۳۶۰ درجه است.

در قسمت های (الف) و (ب) در شکل (۲۲-۶)، تصویر نصف النهار سماوی و دایره ساعتی بر سطح استوای سماوی و نحوه اندازه گیری زاویه ساعتی از جهت جنوب بطرف مغرب، نشان داده شده است.

مختص دیگر، میل (δ) مانند دستگاه استوایی مستقل است. بنابراین در شکلهای (۲۰-۶) و (۲۱-۶)، کمان \widehat{SM} ، در جهتی که نشان داده شده است،



شکل (۶-۲۲) — چگونگی اندازه‌گیری زاویه ساعتی از جهت جنوب به‌سوی مغرب. در این شکل دایره ساعتی و نصف‌النهار سماوی بر صفحه استوای سماوی تصویر شده است.

زاویه ساعتی و کمان MM' ، میل ستاره M است که نقطه M' تصویر نقطه M بر روی دایره استوای سماوی در امتداد دایره ساعتی ستاره است و نقطه S' تصویر نقطه S (جنوب واقعی بر صفحه افق) بر روی دایره استوای سماوی در امتداد نصف‌النهار سماوی است.

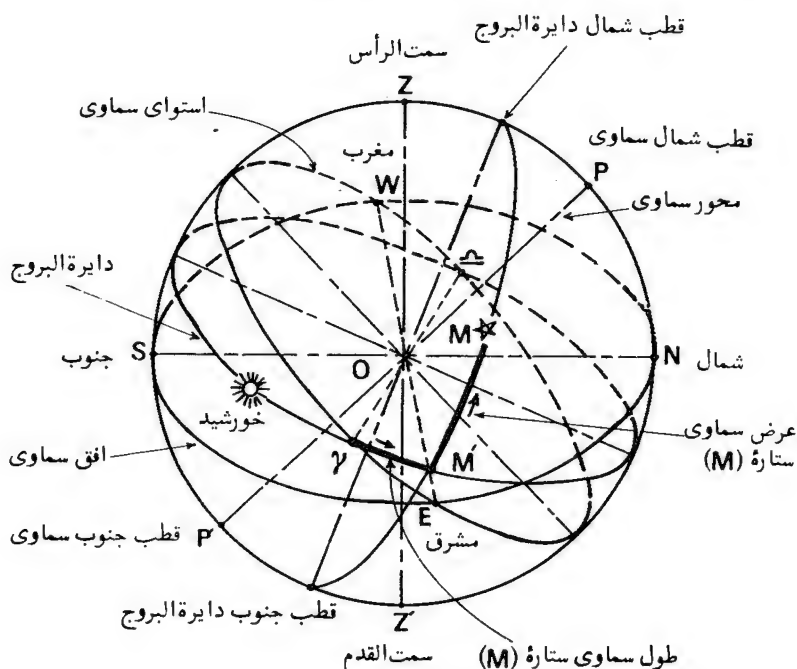
۴-۳۴. دستگاه عرض و طول سماوی

دستگاه عرض و طول سماوی، به نام دستگاه دایره البروج نیز موسوم است. مطالعات نظری حرکت سیاره‌ای در دستگاه مختصات نجومی عرض و طول، صورت می‌گیرد. در این دستگاه مختصات، صفحه اولیه مبنا، سطح دایره البروج است و مختص عرض در آن، عرض سماوی، نامیده می‌شود. صفحه ثانویه مبنا، دایره عظیمه‌ای است که از نقطه اعتدال بهاری (۷) گذشته و بر صفحه دایره البروج عمود است و مختص

طول در این دستگاه، طول سماوی^۱، نام دارد. بدین ترتیب مبدأ طول سماوی، نقطه اعتدال بهاری (۷) است. دو قطب این دستگاه مختصات، به نام قطبهای دایره البروج^۲ موسوم‌اند.

عرض سماوی یک جرم سماوی عبارت از کمان محصور بین دایره البروج و آن جرم سماوی است که در امتداد دایره عظیمه‌ای که از جرم سماوی گذشته و سطح آن بر سطح دایره البروج عمود باشد، در نظر گرفته می‌شود.

طول سماوی یک جرم سماوی، کمانی از دایره البروج است که بین دایره ثانویه مبنا و دایره عظیمه‌ای که از جرم سماوی گذشته و سطح آن بر سطح دایره البروج عمود باشد، محصور می‌گردد. اندازه طول سماوی از صفر درجه در نقطه اعتدال بهاری تا ۳۶۰ درجه بطرف مشرق می‌تواند متغیر باشد. در شکل (۲۳-۶) کمان \widehat{MM} ، عرض سماوی بطرف شمال و $\widehat{\gamma M}$ طول سماوی ستاره M است.



شکل (۲۳-۶) — دستگاه مختصات نجومی طول و عرض سماوی و یا دستگاه دایره البروج.

۵-۳۴. دستگاه کهکشانی^۱

دستگاه مختصات نجومی کهکشانی، برای مطالعه حرکات ستاره‌ای^۲ در منظومه کهکشانی^۳، بکار گرفته می‌شود. مختصات کهکشانی، با اسامی طول کهکشانی^۴ و عرض کهکشانی^۵ شناخته می‌شود که نسبت به سطوح مبنای مربوط به دستگاه کهکشانی، مورد سنجش قرار می‌گیرد.

۶-۳۴. تبدیل مختصات نجومی از یک دستگاه مختصات، به دستگاه دیگر

مختصات نجومی یک جرم سماوی در یک دستگاه مختصات نجومی را می‌توان به مختصات، در دستگاه دیگر تبدیل ساخت. بعنوان مثال می‌توان بُعد و میل یک ستاره را از روی طول و عرض سماوی آن محاسبه کرد. تبدیل مختصات نجومی براساس اصول مثلثات کروی صورت می‌گیرد. تبدیل متداولی که در هر رصدی می‌بایست صورت گیرد، تبدیل از دستگاه افقی به دستگاه استوایی است.

چنانکه قبلاً هم ذکر شد، سمت و ارتفاع یک ستاره، ثابت نیست و بعلم حرکت وضعی زمین و یا حرکت روزانه^۶، در حال تغییر است. در صورتی که بُعد و میل یک ستاره ثابت است، چه، نقطه مبنای^۷ یعنی نقطه اعتدال بهاری خود به همراه اجرام سماوی، دارای حرکت روزانه است، عبارت دیگر این نقطه، به همراه هر جرم سماوی، ظاهراً در طی یک دور حرکت وضعی زمین در ۲۴ ساعت، یک بار به دور زمین می‌گردد. اما وسیله‌ای که بتوان با آن بُعد و میل یک جرم سماوی را اندازه‌گیری کرد، وجود ندارد. در صورتیکه سمت و ارتفاع یک ستاره را می‌توان مستقیماً توسط تئودولیت^۸ اندازه گرفت. با دانستن سمت و زاویه ساعتی یک ستاره، بُعد و میل آن با حل مثلث نجومی^۹ محاسبه می‌شود، البته می‌بایست زمانی که ستاره در یک وضعیت خاص قرار می‌گیرد، زاویه ساعتی آن نیز تعیین گردد.

بنابراین به مختصات نجومی، هم در دستگاه افقی و هم در دستگاه استوایی، نیاز است. دستگاه افقی در عمل برای رصد مستقیم ستارگان و دستگاه بُعد و میل برای محاسبات مورد لزوم در تهیه کاتالوگ ستارگان^{۱۰} بکار گرفته می‌شوند.

1. The Galactic System

2. Stellar Motions

3. Galactic System

4. Galactic Longitude

5. Galactic Latitude

6. Diurnal Motion

7. Reference Point

8. Theodolite

9. Astronomical Triangle

10. Stars Catalogues

۳۵. مثلث نجومی

چنانکه نقاط سمت‌الرأس، قطب سماوی و یک جرم سماوی توسط کمانهای دایره‌های عظیمه بر روی کره سماوی به همدیگر متصل شوند، مثلث کروی حاصل، مثلث نجومی^۱ نامیده می‌شود. بنابراین سه رأس مثلث نجومی عبارت است از سمت‌الرأس ناظر، جرم سماوی و قطب سماوی.

از مثلث نجومی، می‌توان روابط موجود بین مختصات کروی را بدست آورد.

چنانکه

$a =$ ارتفاع ستاره (M)

$\delta =$ میل ستاره (M)

$\varphi =$ عرض جغرافیایی

$h =$ زاویه ساعتی ستاره (M)

باشند، با توجه به شکل (۲۴-۶)، اضلاع و زوایای مثلث نجومی به شرح زیر است:

$\widehat{ZP} = (90^\circ - \varphi) =$ متمم عرض جغرافیایی ناظر

$\widehat{PM} = (90^\circ - \delta) =$ فاصله قطبی و یا متمم میل ستاره (M)

$\widehat{ZM} = (90^\circ - a) =$ فاصله سمت‌الرأس و یا متمم ارتفاع ستاره (M)

زاویه در سمت‌الرأس Z ،

$\widehat{Z} = \widehat{MZP} = A =$ سمت ستاره (M)

زاویه در قطب سماوی P ،

$\widehat{P} = \widehat{ZPM} = h =$ زاویه ساعتی ستاره (M)

زاویه در محل جرم سماوی M ،

$\widehat{M} = \widehat{ZMP} =$ زاویه اختلاف نظر^۲ ستاره M از نقاط سمت‌الرأس و قطب سماوی

چنانچه سه ضلع مثلث نجومی یعنی کمانهای \widehat{ZP} ، \widehat{PM} و \widehat{ZM} و یا به عبارت دیگر اندازه‌های ارتفاع و میل ستاره و عرض جغرافیایی ناظر، معلوم باشند، سمت (A) و زاویه ساعتی (h) ستاره با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی محاسبه می‌شود: با استفاده از فرمول شماره (۲-۴) در فصل چهارم، خواهیم داشت:

$$\cos A = \frac{\sin \delta}{\cos a \cos \varphi} - \tan a \tan \varphi \quad (۴-۶)$$

و یا

$$\varphi < (90^\circ - \delta)$$

(۶-۶)

$$\delta > (90^\circ - \varphi)$$

بنابراین میل یک ستاره دور قطبی، همیشه از متمم عرض جغرافیایی محل رصد، بیشتر است.

به همین ترتیب، در شکل (۶-۲۵)، ستاره M^2 در مسیر B^1B^2 همیشه زیر افق است و لذا هیچوقت برای ناظر O ، طلوع ندارد.

۳۷. ستاره در حال عبور^۱

زمانی که یک ستاره، نصف النهار ناظر را قطع می کند، اصطلاحاً گفته می شود که آن ستاره عبور^۲ و یا گذر کرده است. یک ستاره در حرکت ظاهری خود به دور قطب، دوبار دایره نصف النهار ناظر را قطع می کند که یکی از این دو گذر به نام گذر زیرین^۳ و دیگری به نام گذر زبرین^۴ است.

یک ستاره، زمانی در گذر زبرین است که ارتفاع آن حداکثر باشد و وقتی در گذر زبرین است که ارتفاع آن، حداقل است. با توجه به این تعریف، در شکل (۶-۲۶)، ستاره M^1 در وضعیت A^1 در گذر زبرین و در وضعیت B^1 در گذر زبرین می باشد. همچنین ستاره M^2 در نقاط A^2 و B^2 از نصف النهار ناظر O گذر می کند، که A^2 گذر زبرین و B^2 گذر زبرین است.

چنانکه از این شکل پیداست، گذر زبرین ستاره M^1 در نقطه A^1 ، در طرف شمالی سمت الرأس و یا بین قطب و سمت الرأس واقع می شود، در صورتیکه گذر زبرین ستاره M^2 در نقطه A^2 ، در طرف جنوبی سمت الرأس، اتفاق می افتد. در نقطه گذر زبرین ستاره M^1 در نقطه A^1 ، فاصله سمت الرأس آن به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} z_{M^1} &= \widehat{ZA^1} = \widehat{ZP} - \widehat{A^1P} \\ &= (90^\circ - \varphi) - (90^\circ - \delta) \end{aligned}$$

1. Star of Culmination

2. To Culminate (Transit)

3. Upper Culmination

4. Lower Culmination

از فرمولهای (۶-۷) و (۶-۸) چنین می توان نتیجه گیری کرد که گذر زبرین یک ستاره، وقتی در شمال سمت الرأس اتفاق می افتد که میل ستاره از عرض جغرافیایی محل رصد بیشتر و زمانی در جنوب سمت الرأس واقع می شود که میل آن کمتر از عرض باشد.

۳۸. وضعیت دورترین فاصله یک ستاره

گاهی وضعیت یک جرم سماوی نسبت به نصف النهار سماوی مکان، سنجیده می شود. وقتی یک ستاره دارای بیشترین فاصله از نصف النهار است، گفته می شود که در وضعیت دورترین فاصله قرار گرفته است که این دورترین فاصله، می تواند شرقی و یا غربی باشد. در وضعیت دورترین فاصله، ستاره، بیشترین سمت را دارا است و همچنین دایره مسیر حرکت ظاهری روزانه ستاره بر دایره عمودی ستاره، مماس می شود. بنابراین مثلث نجومی در رأس مربوط به ستاره، قائم الزاویه می شود.

وقتی یک ستاره در وضعیت دورترین فاصله، در مشرق نصف النهار سماوی مکان باشد، گفته می شود که ستاره در وضعیت دورترین فاصله شرقی است و در صورتیکه در مغرب نصف النهار باشد، در وضعیت دورترین فاصله غربی است. در شکل (۶-۲۷)، ستاره M در وضعیت دورترین فاصله شرقی قرار دارد.

با استفاده از قاعده نیپر در مورد مثلث کروی قائم الزاویه، می توان سمت (A)، زاویه ساعتی (h) و ارتفاع (a) یک جرم سماوی در وضعیت دورترین فاصله را، محاسبه کرد. چنانکه در شکل (۶-۲۸) نشان داده شده است، پنج قسمت دایره نیپر به ترتیب عبارت است از: دو ضلع (a - ۹۰°) و (۹۰° - δ) و متمم سه قسمت بقیه یعنی (h - ۹۰°)،

$$\varphi = [90^\circ - (90^\circ - \varphi)] \text{ و } [90^\circ - A]$$

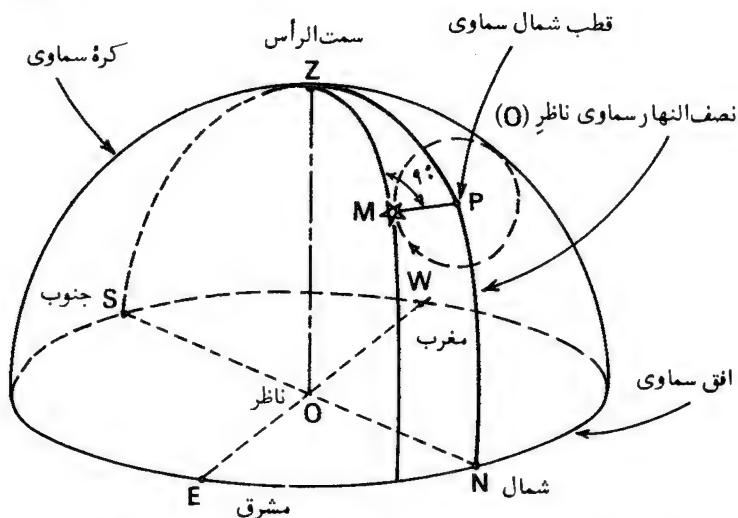
$$\sin(90^\circ - h) = \tan(90^\circ - \delta) \tan \varphi$$

بنابراین خواهیم داشت:

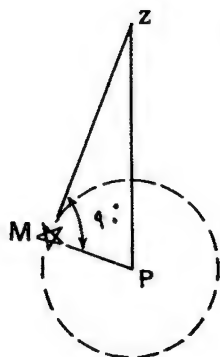
$$\cosh = \frac{\tan \varphi}{\tan \delta} = \tan \varphi \cot \delta \quad (۶-۹)$$

همچنین

$$\sin \varphi = \cos(90^\circ - \delta) \cos(90^\circ - a)$$



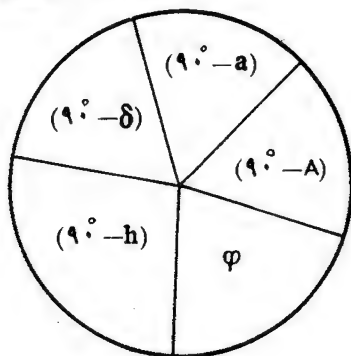
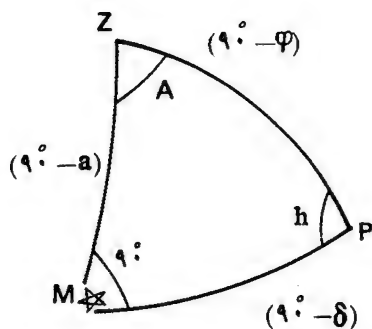
الف- مسیر حرکت ظاهری یک ستاره بر روی کره سماوی



ب- تصویر مسیر حرکت ظاهری یک ستاره

نسبت به سمت الرأس و قطب سماوی

شکل (۶-۲۷) - وضعیت دورترین فاصله یک ستاره.



شکل (۶-۲۸) - کاربرد قاعده نیپر در مورد یک ستاره در وضعیت دورترین فاصله، به شکل

(۶-۲۷) مراجعه شود.

و یا

$$\sin a = \frac{\sin \varphi}{\sin \delta} = \sin \varphi \operatorname{cosec} \delta \quad (۶-۱۰)$$

و برای سمت در وضعیت دورترین فاصله خواهیم داشت:

$$\sin(۹۰^\circ - \delta) = \cos(۹۰^\circ - A) \cos \varphi$$

و یا

$$\sin A = \frac{\cos \delta}{\cos \varphi} = \cos \delta \operatorname{sec} \varphi \quad (۶-۱۱)$$

۳۹. وضعیت یک ستاره در سطح نصف النهار اصلی

وقتی یک ستاره، در سطح نصف النهار اصلی ناظر قرار گیرد، گفته می شود که ستاره در وضعیت سطح نصف النهار اصلی است. در چنین حالتی زاویه رأس سمت الرأس از مثلث نجومی ستاره، یعنی زاویه رأس Z ، قائمه می شود - شکل (۶-۲۹) - . سطح نصف النهار اصلی، صفحه دایره عظیمه ای است که بر صفحه نصف النهار سماوی مکان، عمود بوده، از نقاط مشرق، مغرب و سمت الرأس ناظر می گذرد.

در اینجا فرمول (۲-۳) که در فصل دوم داده شده بود، به اثبات می رسد:

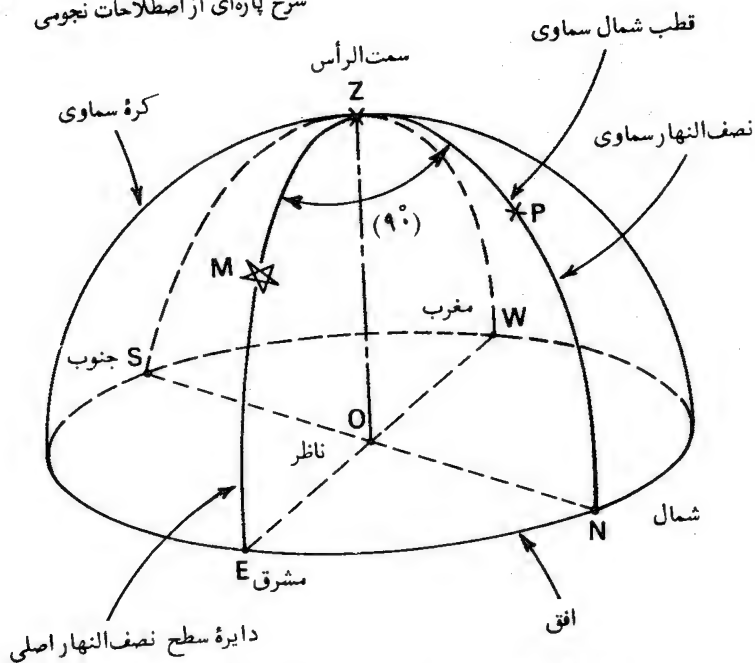
چنانکه میل خورشید (δ) و عرض جغرافیایی (φ) یک محل، در دست باشد، با استفاده از قاعده نیپر در مورد مثلث کروی قائم الزاویه، می توان ارتفاع (a) و زاویه ساعتی (h) یک ستاره در وضعیت سطح نصف النهار اصلی را محاسبه کرد. در اینجا پنج قسمت دایره نیپر، مطابق شکل (۶-۳۰)، به ترتیب عبارتند از: دواضع ($\varphi - ۹۰^\circ$) و ($۹۰^\circ - a$) و متمم سه قسمت بقیه یعنی،

$$(۹۰^\circ - h) \text{ و } [۹۰^\circ - (۹۰^\circ - \delta) = \delta] \text{ ، } (۹۰^\circ - M)$$

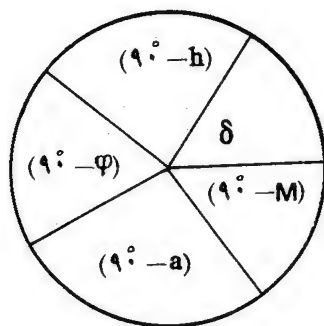
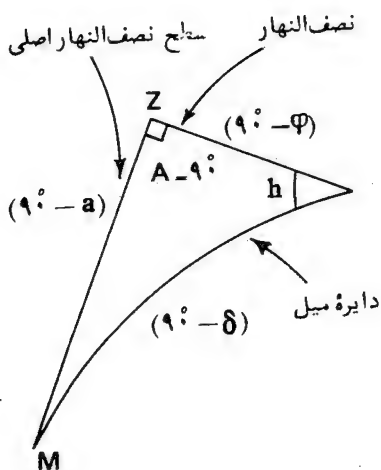
و حالا خواهیم داشت:

$$\sin \delta = \cos(۹۰^\circ - \varphi) \cos(۹۰^\circ - a) = \sin \varphi \sin a$$

$$\sin a = \frac{\sin \delta}{\sin \varphi} = \sin \delta \operatorname{cosec} \varphi$$



شکل (۲۹-۶) - وضعیت یک ستاره در سطح نصف النهار اصلی.



شکل (۳۰-۶) - کاربرد قاعده نیپر در مورد وضعیت یک ستاره در سطح نصف النهار اصلی.
به شکل (۲۹-۶) مراجعه شود.

و یا

$$\sin(90^\circ - h) = \tan(90^\circ - \varphi) \tan \delta$$

$$\cos h = \tan \delta \cot \varphi$$

(۶-۱۳)

که همان فرمول (۲-۳) است.

۴۰. قرار گرفتن یک ستاره در افق^۱

یک ستاره وقتی در افق قرار می گیرد که ارتفاع (a) آن برابر صفر درجه و در نتیجه، فاصله سمت الرأس آن مساوی ۹۰ درجه باشد. چنانکه میل خورشید (δ) و عرض جغرافیایی (φ) معلوم باشند، می توان سمت و زاویه ساعتی ستاره ای را که در افق قرار می گیرد، محاسبه کرد.

برای این منظور کافی است که در فرمولهای (۴-۶) و (۵-۶)، مقدار a را برابر

صفر بگیریم. در نتیجه، خواهیم داشت:

$$\cos A = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi} = \sin \delta \sec \varphi \quad (۶-۱۴)$$

و همچنین

$$\cos h = -\tan \delta \tan \varphi \quad (۶-۱۵)$$

۴۱. قرار گرفتن ستاره در خارج از نصف النهار^۲

وقتی که ستاره ای از نصف النهار سماوی مکان، فاصله داشته باشد، گفته می شود که ستاره، در خارج از نصف النهار واقعست.

۴۲. فاصله زاویه ای ستارگان^۳

فاصله زاویه ای ستاره ای نسبت به ستاره دیگر، توسط اندازه کمانی، از دایره عظیمه ای که ناظر در مرکز آن قرار گرفته و بر روی کره سماوی از هر دو ستاره گذر می کند، اندازه گیری می شود. در چنین حالتی فاصله زاویه ای دو ستاره آن چنانکه بنظر

1. Star of Horizon
2. Star at Ex-Meridian
3. Angular Distance of Stars

ناظر می‌آید در نظر گرفته می‌شود.

۴۳. فاصله زاویه‌ای ماه^۶

فاصله زاویه‌ای ماه از خورشید، فاصله زاویه‌ای ماه نامیده می‌شود.

۴۴. مقارنه^۷

وقتی که خط واصل از زمین به خورشید و از زمین به یک سیاره، دقیقاً در یک راستا و جهت باشند گفته می‌شود که سیاره در حالت مقارنه است. در چنین حالتی، سیاره و خورشید هردو بر روی کره سماوی، بر هم منطبق می‌شوند و لذا طول و عرض آنها برابر است.

در مورد سیاره‌های زهره^۳ و عطارد^۴، مقارنه، دو نوع است. یکی مقارنه سفلی^۵ و آن زمانی است که سیاره بین خورشید و زمین قرار گرفته، و دیگری مقارنه علیا^۶ و آن وقتی است که خورشید بین زمین و سیاره واقع است.

۴۵. مقابله^۷

وقتی که خط واصل از زمین به خورشید و از زمین به ماه و یا یک سیاره، دقیقاً در یک راستا اما در دو جهت مختلف قرار داشته باشند، گفته می‌شود که ماه و یا سیاره در حالت مقابله‌اند در چنین حالتی طول خورشید و سیاره بر روی کره سماوی، ۱۸۰ درجه اختلاف خواهند داشت.

۴۶. خورشید^۸

در میان ستارگان آسمان، خورشید بیش از همه جلب توجه می‌کند، چه، تنظیم

1. Moon's Elongation

2. Conjunction

3. Venus

4. Mercury

5. Inferior Conjunction

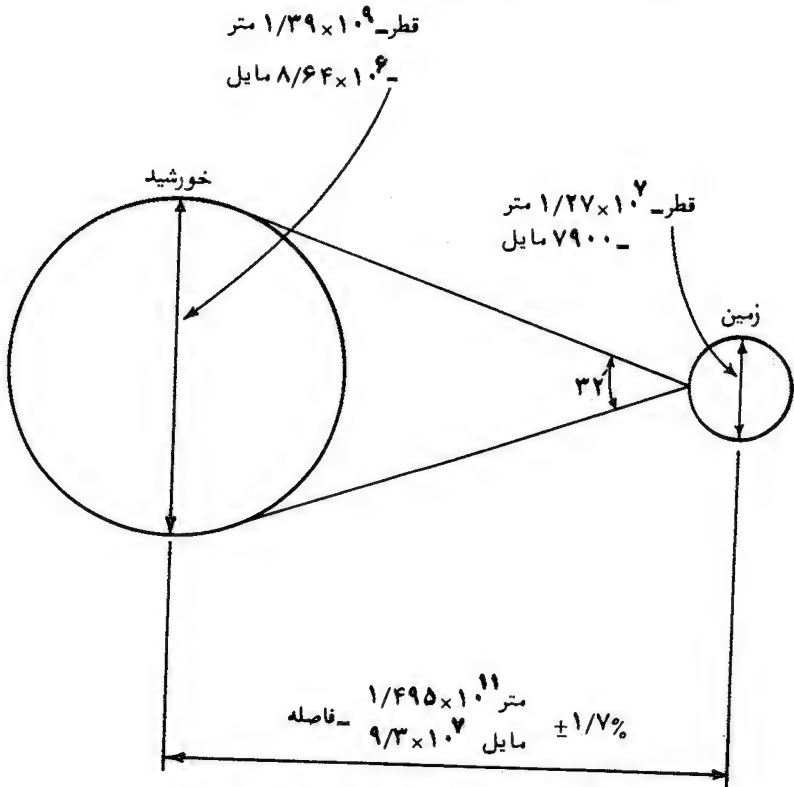
6. Superior Conjunction

7. Opposition

8. The Sun

زندگی روزمره ما توسط حرکات آن صورت می گیرد. متوسط فاصله زمین و خورشید ۹۳ میلیون مایل و یا ۱۵۰ میلیون کیلومتر است. میزان دقیق این فاصله، $۹۲,۹۵۵,۷۰۰$ مایل است. این فاصله، یک واحد نجومی^۱ نامیده می شود. برای پی بردن به فاصله های بسیار زیاد مابین ستارگان، کافی است بگوئیم که یک واحد نجومی برابر $\frac{۱}{۲۵۰,۰۰۰}$ فاصله نزدیکترین ستاره به زمین است.

قطر ستاره خورشید در حدود $\frac{۱}{۳۹}$ میلیون کیلومتر و تقریباً ۱۰۹ برابر قطر کره زمین است. نسبت ابعاد زمین و خورشید در شکل (۳۱-۶) نمایانده شده است. خورشید به شکل کره و از مواد بسیار بسیار داغ در حالت گازی، تشکیل یافته است. خورشید به صورتیکه از زمین مشاهده می شود، هر چهار هفته یک بار حول محورش می چرخد. اما این گردش به صورت گردش یک جسم صلب^۲ نیست؛ گردش



شکل (۳۱-۶) - مقایسه ابعاد خورشید و زمین (بدون مقیاس).

استوای آن در حدود ۲۷ روز و گردش نواحی قطبی آن، در حدود ۳۰ روز طول می‌کشد. خورشید دارای درجه حرارت مؤثر جسم سیاه^۱ برابر ۵۷۶۲ درجه کلوین^۲ است. این بدان معنی است که مقدار انرژی حاصل از خورشید برابر انرژی بدست‌آمده از جسم سیاهی است که درجه حرارت آن ۵۷۶۲ درجه کلوین باشد. درجه حرارت نواحی داخلی و مرکزی خورشید به گونه‌های متفاوت از ۸×۱۰^۸ تا ۴۰×۱۰^۸ درجه کلوین و وزن مخصوص آن در حدود صد برابر وزن مخصوص آب تخمین زده شده است. جرم خورشید تقریباً $۳۳۲,۰۰۰$ برابر جرم زمین است. متوسط وزن مخصوص زمین در حدود ۵/۵ و در حالیکه متوسط وزن مخصوص خورشید ۱/۴ برابر وزن مخصوص آب است.

۴۷. حرکات ظاهری خورشید^۳

خورشید دارای دو حرکت ظاهری است. یکی نسبت به زمین از مشرق به مغرب که بعلت حرکت دورانی زمین به دور محورش، از مغرب به مشرق، ظاهر می‌شود و می‌دانیم که حرکت دورانی زمین موجب پیدایش شب و روز است. حرکت ظاهری دیگر خورشید نسبت به ستارگان ثابت بر روی کره سماوی است.

چنانکه وضعیت خورشید نسبت به ستارگان دیگر دقیقاً بر روی کره سماوی بطور مداوم رصد شود، دیده خواهد شد که محل‌های بدست آمده، برای خورشید بر روی کره سماوی، بر روی دایره عظیمه‌ای قرار خواهد گرفت که سطح آن با سطح دایره استوای سماوی، زاویه‌ای تقریباً برابر ۲۳/۴۵ درجه خواهد ساخت. این دایره عظیمه قبلاً بعنوان دایره اکلیپتیک^۴ و یا دایره البروج تعریف شده است. علت نام‌گذاری اصطلاح اکلیپتیک بدان سبب است که خورشید و ماه گرفتگی^۵ زمانی صورت می‌پذیرد که مسیر ماه این دایره عظیمه را قطع کند.

این حرکت ظاهری خورشید در امتداد دایره البروج، سالی یک بار صورت می‌پذیرد. بدین ترتیب که خورشید از طرف مغرب بجانب مشرق بر روی دایره البروج از جنوب دایره استوای سماوی بطرف شمال بالا آمده، دایره استوای سماوی را در نقطه اعتدال

1. Effective Black-body Temperature

2. Kelvin

3. Apparent Motions of the Sun

4. Ecliptic

5. Eclipses

بهاری^۱ قطع می‌کند. این عمل در اوّل بهار (اوّل فروردین ماه و یا حدود ۲۱ مارس) انجام می‌پذیرد.

بعد از بیان حرکت انتقالی زمین به دور خورشید و چگونگی بوجود آمدن فصول چهارگانه، در مورد حرکات ظاهری خورشید، مطلب بیشتری خواهد آمد.

۴۸. حرکت مداری زمین به دور خورشید^۲

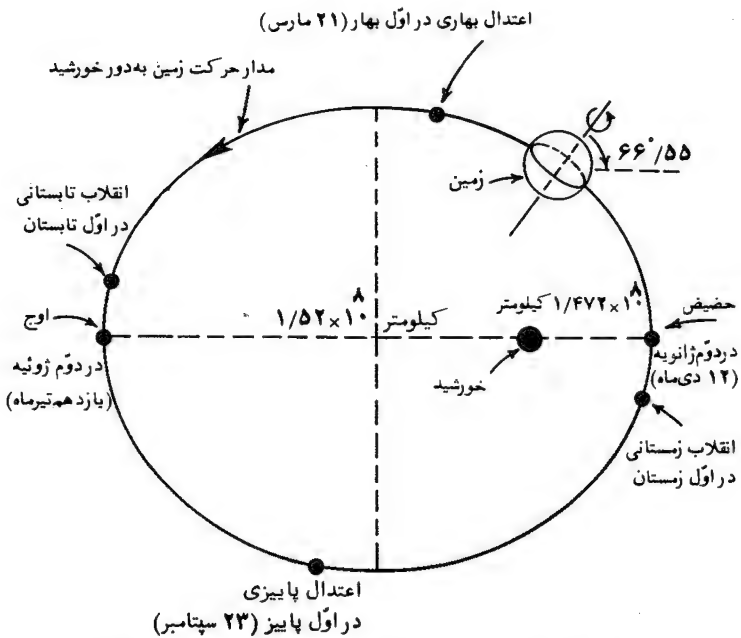
حرکات خورشید ظاهری است و حقیقی نمی‌باشد. به همان گونه که حرکت ظاهری روزانه خورشید ناشی از حرکت وضعی زمین است، تغییرات ظاهری میل و بُعد خورشید نیز ناشی از حرکت سالانه زمین به دور خورشید می‌باشد. بنابراین زمین دارای دو حرکت واقعی است؛ یکی حرکت وضعی و یا حرکت دورانی آن حول محورش، که موجب حرکت ظاهری روزانه خورشید است، و دیگری حرکت انتقالی و یا مداری سالیانه به دور خورشید که موجب پیدایش حرکت ظاهری سالانه خورشید در امتداد دایرة البروج، می‌باشد. جهت حرکت سالیانه زمین، مانند حرکت روزانه اش به دور خود، از طرف مغرب بجنب مشرق است.

زمین در طی یک سال، یک بار در مسیری تقریباً دایره‌ای شکل و در جهت مغرب به مشرق به دور خورشید می‌گردد. شعاع تقریبی مسیر دایره‌ای شکل در حدود ۹۳ میلیون مایل است. بصورت دقیق‌تر، مدار حرکت زمین به شکل یک بیضی است که خورشید در یکی از کانونهای آن قرار دارد. در این صورت فاصله خورشید و زمین در طول سال متغیر است. مدار حرکت زمین تقریباً در یک صفحه واقع است که مدار حرکت ظاهری سالانه خورشید نیز در همان صفحه است، و به همین دلیل، دایرة البروج بعنوان فصل مشترک صفحه مدار حرکت انتقالی زمین و کره سماوی نیز تعریف شد.

چنانکه می‌دانیم صفحه دایرة البروج با صفحه استوا، زاویه‌ای برابر 23° و $27'$ می‌سازد. به همین دلیل محور چرخشی زمین، زاویه‌ای برابر 66° و $33'$ با صفحه دایرة البروج دارد و امتداد محور در طی سال، بموازات خود بوده و تقریباً ثابت است. سرعت حرکت انتقالی زمین به دور خورشید بطور متوسط $18/5$ مایل در ثانیه است.

در شکل (۳۲-۶) مسیر بیضی شکل حرکت انتقالی زمین به دور خورشید توسط

نمایانگر پهن شدگی^۱ و یا فشردگی زمین در دو قطب آنست، اشتباه گرفت. این کمیت نیز قبلاً تعریف شده و مقدارش $\frac{1}{297}$ است.



شکل (۶-۳۳) - ابعاد مسیر بیضی شکل حرکت انتقالی زمین به دور خورشید.

در شکل (۶-۳۲) نقاط P و A انتهای قطر اطول بیضی هستند. جهت حرکت زمین توسط علامت سهم (\rightarrow) نمایانده شده است. در حوالی دوازدهم دی ماه (دوّم ژانویه) زمین به نقطه P می‌رسد که دارای نزدیکترین فاصله از خورشید است. در این حالت گفته می‌شود که زمین در نقطه حضيض^۲ است. در حوالی یازدهم تیرماه (دوّم ژوئیه) زمین به نقطه A می‌رسد که دارای دورترین فاصله از خورشید است که نقطه اوج^۳ نام دارد. فاصله زمانی دو حالت اوج و حضيض در حدود ۶ ماه است. وقتی که زمین نسبت به خورشید در نقطه حضيض است، در آنصورت خورشید نسبت به زمین، در نقطه حضيض خورشیدی^۴ است. همچنین وقتی که زمین نسبت به خورشید در نقطه اوج است، خورشید نسبت به زمین در اوج خورشیدی^۵ است. خط واصل بین دو نقطه حضيض و

1. Flattening
2. Perihelion
3. Aphelion
4. Perigee
5. Apogee

اوج، به نام خط حدّ دوری و نزدیکی^۱ موسوم است.

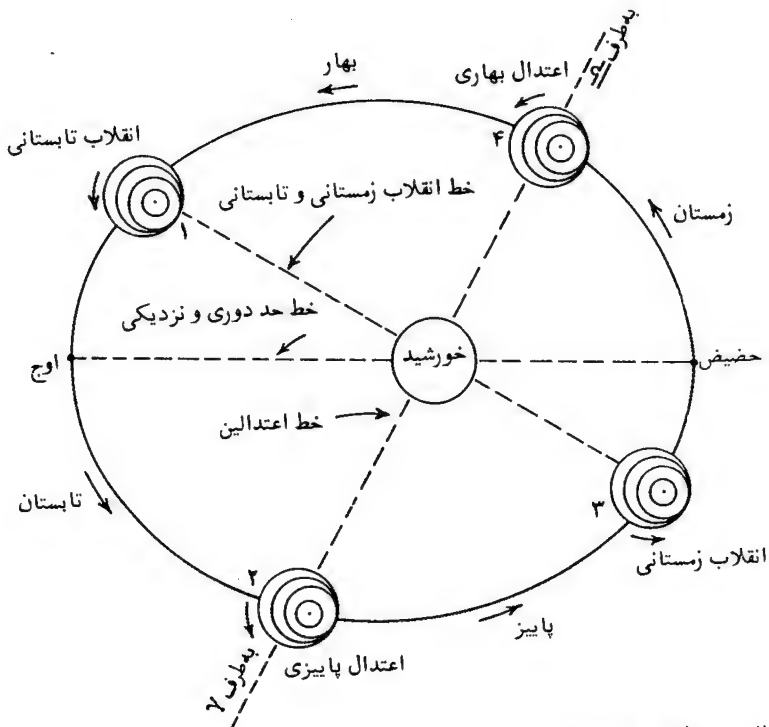
سرعت زاویه‌ای زمین در وضعیت حضيض، بیشترین و در نقطه اوج کمترین مقدار آن است.

۴۹. فصول^۲

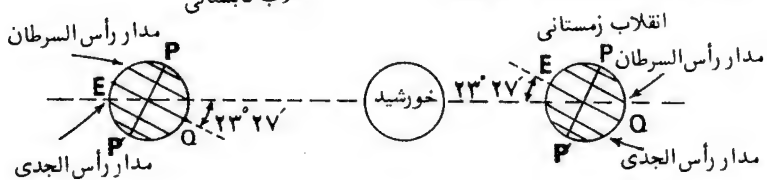
در طول مدتی که زمین در مسیر بیضی شکل، به دور خورشید می‌گردد، امتداد محور آن به موازات خود باقی مانده و زاویه آن با سطح مدار در حدود ۶۶/۵۵ است. مایل بودن^۳ محور چرخشی زمین نسبت به سطح مداری آن، موجب بوجود آمدن فصول است.

برای تشریح فصول چهارگانه، مدار حرکت انتقالی زمین به دور خورشید در شکل (۳۴-۶) نشان داده شده است. در وضعیت ۱، زمین در نقطه‌ای از مدار قرار می‌گیرد که انتهای شمالی محور چرخشی آن بطرف خورشید است. در اوّل تیرماه (۲۲ ژوئن) چنین بنظر می‌رسد که خورشید در شمالی‌ترین وضعیت خود قرار گرفته و در مناطق شمالی خط استوا طول روزها بلندترین و طول شبها کوتاه‌ترین اندازه را دارد و این آغاز فصل تابستان در نیمکره شمالی است. این وضعیت زمین، انقلاب تابستانی^۴ نامیده می‌شود. در این وضعیت، اشعه خورشید بر روی مدار رأس السرطان، از بالای سر، بصورت قائم می‌تابد و کلیه نقاط واقع بر این مدار، خورشید را در نیمه روز درست در بالای سر خواهند داشت. عرض مدار رأس السرطان ۲۳/۴۵ شمالی است که متمم ۶۶/۵۵ درجه می‌باشد.

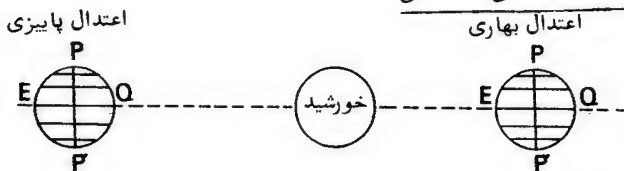
در وضعیت ۲، در اوّل مهرماه (۲۳ سپتامبر)، خورشید بر روی امتداد صفحه دایره استوا قرار می‌گیرد، بنابراین خورشید، بصورت قائم بر دایره استوا می‌تابد. این وضعیت شروع فصل پاییز است. در شروع فصل پاییز، طول شب و روز در تمام نقاط روی کره زمین برابر است. لحظه قرارگیری خورشید بر روی امتداد صفحه استوا در اوّل پاییز، به نام اعتدال پاییزی^۵ موسوم است. در این وضعیت، محور زمین بر خط واصل بین زمین و خورشید عمود است.



الف - سطح مدار حرکت انتقالی زمین



ب - مقطع خط انقلاب زمستانی و تابستانی



ج - مقطع خط اعتدالین

شکل (۳۴-۶) - اثر حرکت سالیانه زمین در بوجود آمدن چهار فصل.

در وضعیت ۳، زمین در نقطه ای از مدار خود قرار می گیرد که نقطه شمالی محور

آن بدور از خورشید است. در این حالت، خورشید در منتها الیه وضعیت جنوبی خود قرار دارد و این شروع زمستان، در نیمکره شمالی در اوّل دی ماه (۲۲ دسامبر) است. در این حالت، روزها کوتاه‌تر و شبها بلندتر از همیشه است. این وضعیت زمین در اوّل زمستان، به انقلاب زمستانی^۱ موسوم است. در این وضعیت اشعه خورشید بر روی مدار رأس الجدی از بالای سر بصورت قائم می‌تابد و کلیه نقاط واقع بر این مدار، خورشید را در نیمه روز درست در بالای سر خواهند داشت. عرض مدار رأس الجدی ۲۳/۴۵° جنوبی است که متمم ۶۶/۵۵° است.

در وضعیت ۴، در اول فروردین ماه (۲۱ مارس)، دوباره خورشید بر امتداد صفحه دایره استوای زمین قرار می‌گیرد و این شروع فصل بهار و طول شب و روز همه‌جا بر روی زمین برابر می‌شوند. لحظه شروع این وضعیت به اعتدال بهاری^۲ موسوم است. خط اعتدالین^۳، در شکل (۳۴-۶)، فصل مشترک دایره البروج و دایره استوای سماوی است و بر خط انقلاب تابستانی و زمستانی^۴ عمود است.

شروع فصول در نیمکره جنوبی درست برعکس نیمکره شمالی است؛ بدین معنی که وقتی در نیمکره شمالی فصل تابستان شروع می‌شود، در نیمکره جنوبی، زمستان آغاز می‌گردد.

با توجه به مطالب ذکر شده، سرد بودن هوا در زمستان بعلت دو دلیل زیر است:

۱. کوتاه بودن طول روزها در زمستان.

۲. اشعه خورشید که بر روی زمین می‌تابد نسبت به فصول دیگر، متمایلتر است، یعنی از خط عمود بر سطح، بیشتر فاصله دارد، و این مطلب میزان قدرت دریافتی از نور خورشید را کاهش می‌دهد.

گرچه در فصل زمستان، زمین به خورشید نزدیکتر است، اما این مطلب اثر کمی در گرمتر کردن هوا دارد. مقدار انرژی دریافتی از خورشید بر روی زمین، بمدت زمان تابش خورشید (طول روز) و ارتفاع شعاع تابش آن، بستگی دارد.

بعلت اثر پوششی^۵ و ذخیره‌ای^۶ اتمسفر زمین، حداکثر و حداقل درجه حرارت بر روی کره زمین، به ترتیب در شروع وضعیتهای ۱ و ۳ اتفاق نمی‌افتد و افزایش و یا کاهش درجه حرارت در حدود دو ماه، بطول می‌انجامد.

1. Winter Solstice

2. Vernal Equinox

3. Line of Equinoxes

4. Line of Solstices

5. Blanketing

6. Storage

۵۰. وضعیتهای ظاهری خورشید^۱ در فصول مختلف

حال می‌توانیم به مطلب حرکات ظاهری خورشید که در مطلب شماره (۴۷) در این فصل، مورد بررسی قرار گرفت، برگردیم.

در شکل (۳۵-۶)، قسمت (ب)، وضعیتهای ظاهری روزانه خورشید در فصول مختلف نمایانده شده است. حال به مطالعه این شکل، در رابطه با قسمت (الف) آن می‌پردازیم. بدین ترتیب که در قسمت (الف)، حرکت ظاهری سالیانه خورشید بر روی دایرة البروج و در قسمت (ب)، مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در فصول گوناگون، مورد بررسی قرار می‌گیرد. چنانکه از شکل قسمت (الف) پیداست، با ادامه حرکت ظاهری سالیانه خورشید بر روی دایرة البروج، میل خورشید بطور دائم تغییر می‌کند. بعلا تغییر میل خورشید، مسیر ظاهری روزانه خورشید در هر روز نسبت به روز قبل تغییر می‌یابد. بدین ترتیب مسیر ظاهری روزانه خورشید، یک دایرة کامل نیست و بلکه مجموعه حرکات روزهای متمادی بصورت یک منحنی مارپیچی^۲ و یا فنری شکل است.

اما به منظور ساده‌تر کردن تشریح مسئله، فرض بر این است که میل خورشید در طول یک روز ثابت باشد و اندازه میل خورشید در طلوع خورشید، در تمام طول روز، به همان اندازه باقی بماند. در نتیجه، همچنانکه در قسمت (ب)، شکل (۳۵-۶) نمایانده شده، مسیرهای روزانه، بموازات هم نشان داده شده و دیگر بصورت فنری شکل نیستند.

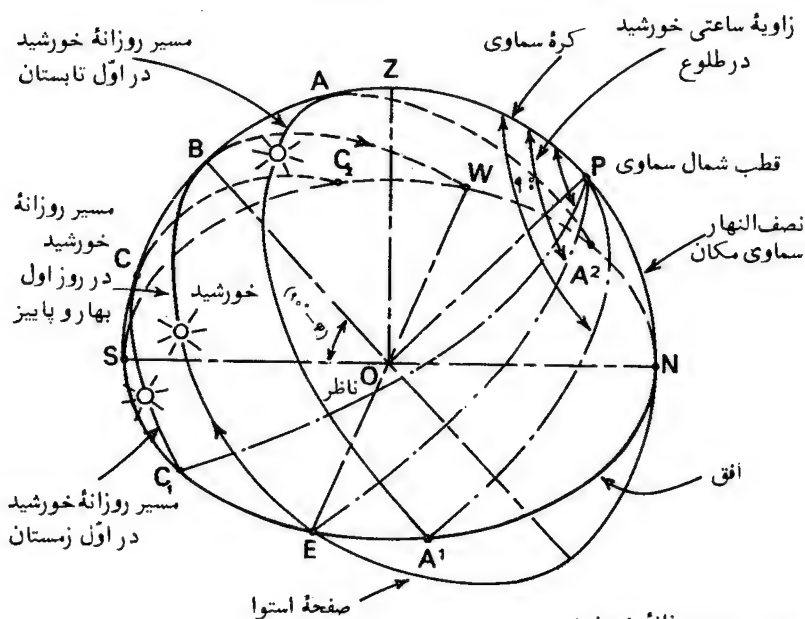
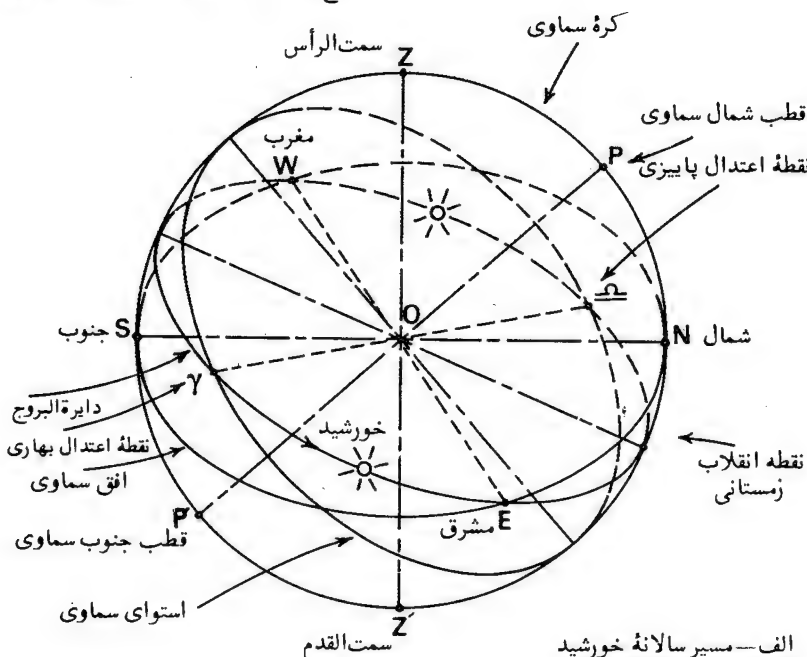
در روز اول بهار، خورشید بر روی نقطه اعتدال بهاری (۷)، در شکل قسمت (الف)، قرار داشته و میل آن صفر درجه است. در این روز مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید، در امتداد دایرة استوا بوده و از نقطه مشرق (E) افق طلوع و در نقطه مغرب (W) آن غروب می‌کند. بدین ترتیب زاویه ساعتی خورشید در نقطه E، ($EPZ = 90^\circ$) است.

در نقطه W، زاویه ساعتی آن، بهنگام غروب نیز دوباره 90° خواهد بود. به همین سبب طول شب و روز در این روز برابر است. در روز اول بهار، ارتفاع نصف-النهاری خورشید^۳ (SB) در هر محلی برابر متمم عرض جغرافیایی ($90^\circ - \varphi$) آن محل

1. Apparent Positions of the Sun

2. Spiral Curve

3. Meridian Altitude of the Sun



خواهد بود. این مطلب را می توان بسادگی از فرمول شماره (۱-۱)، مذکور در فصل اول، نیز نتیجه گرفت؛ بدین ترتیب کافی است که در این فرمول اندازه میل خورشید را برابر صفر ($\delta = 0^\circ$) بگیریم و در نتیجه خواهیم داشت $\alpha = (90^\circ - \varphi)$ (ارتفاع).

با ادامه حرکت ظاهری سالانه خورشید بر روی دایره البروج، از نقطه (γ) به بعد، اندازه میل خورشید مرتباً افزایش می یابد. در نقطه (M)، نقطه انقلاب تابستانی، میل خورشید به بیشترین میزان آن یعنی $\delta = +23^\circ/45$ در روز اول تابستان می رسد. مسیر A^1AA^2 نمایانگر مسیر خورشید در این روز است. خورشید در حالی از نقطه A^1 طلوع می کند که زاویه ساعتی آن ($\angle A^1PZ$) بیشتر از 90° درجه است.

بهنگام غروب در نقطه A^2 نیز زاویه ساعتی آن بیشتر از 90° درجه خواهد بود. بدین سبب روز اول تابستان، طولانی ترین روز است و ارتفاع نصف النهاری خورشید (SA) نیز بیشترین اندازه را خواهد داشت.

در روز اول پاییز، دوباره میل خورشید برابر صفر درجه شده و مسیر حرکت آن مانند روز اول بهار در امتداد دایره استوا قرار می گیرد و طول شب و روز برابر می شود. با ادامه حرکت ظاهری خورشید در امتداد دایره البروج، میزان میل خورشید

بطرف جنوب دایره استوا افزایش می یابد. در روز اول زمستان، اندازه جنوبی میل خورشید ($\delta = -23^\circ/45$) بیشترین مقدار است. مسیر C^1CC^2 ، نمایانگر مسیر خورشید در این روز است. خورشید در حالی از نقطه C^1 طلوع می کند که زاویه ساعتی آن ($\angle C^1PZ$) کمتر از 90° درجه است. بهنگام غروب در نقطه C^2 نیز زاویه ساعتی آن کمتر از 90° خواهد بود. بدین سبب طول شب بیشتر از طول روز است.

۵۱. تقویم نجومی دریانوردی^۱

ابتدا باید جدول نجومی^۲ را شرح داد. جدول نجومی، مجموعه ای است که در فواصل زمانی منظم منتشر شده و در آن، موقعیت و وضعیت روزانه خورشید، ماه، سیارات و بعضی ستاره ها به همراه سایر اطلاعات مورد لزوم دریانوردان و اخترشناسان، داده می شود.

تقویم نجومی دریانوردی یک جدول نجومی است که سالیانه منتشر می شود،

1. Nautical Almanac

2. Ephemeris

بدین ترتیب که تقویم نجومی هر سال از چند سال قبل در دسترس است. تقویم نجومی، اولین بار در سال ۱۷۶۷ منتشر شد اما از سال ۱۹۶۰ به بعد با نام همان جدول نجومی^۱، منتشر می‌شود. فرم خلاصه شده آن، برای استفاده در دریانوردی، با همان اسم قبلی تقویم نجومی دریانوردی انتشار می‌یابد. در فرم خلاصه شده دقت اطلاعات در حد دقتی است که از اندازه‌گیریهای انجام شده با سکستانت^۲ حاصل می‌شود. محتویات جدول نجومی و جدول نجومی آمریکایی^۳ یکی است.

۵۲. میل خورشید^۴

در فصل اول، در بخش (۱-۲) که تعیین عرض جغرافیایی با وسایل ساده، تشریح شد، دیدیم که به مقادیر میل خورشید نیاز پیدا می‌شود. بعلاوه به این مقادیر در سایر موارد نیز نیاز است. میل خورشید را می‌توان به طرق مختلف بدست آورد. ممکن است آن را از جداول نجومی استخراج کرد. میل خورشید یک کمیت متغیر است و در جدول نجومی، مقادیر روزانه میل خورشید حقیقی^۵ (ظاهری، آنچنانکه بنظر می‌رسد) و خورشید میانگین^۶ برحسب زمان شمسی ظاهری و زمان شمسی متوسط، به وقت نیمه‌شب گرینویچ به همراه تغییرات ساعتی آن در نیمه‌شب گرینویچ، داده شده است. تغییرات ساعتی داده شده در نیمه‌شب برحسب علامت آن ممکن است در حال اضافه شدن (علامت +) و یا در حال کم شدن (علامت -) باشد و میزان تغییر برای ساعات دیگر ثابت نیست و ساعت بساعت فرق می‌کند.

برای تعیین میل خورشید در هر ساعتی به وقت گرینویچ، می‌بایست از راه درون‌یابی^۷ (انترپولاسیون) مابین مقادیر داده شده در جدول، آن را بدست آورد. اگر فرض کنیم مقدار تغییر میل خورشید یکسان و برابر مقدار تغییر در نیمه مدت زمان در نظر گرفته شده باشد، می‌توان با استفاده از دو مقدار متوالی جدول از راه درون‌یابی خطی^۸، میل خورشید را در وقت معین بسادگی محاسبه کرد؛ در غیر این صورت می‌بایست تفاضل‌های بیشتری را در محاسبه، وارد ساخت.

در اینجا مثالی را آورده‌ایم که تغییر میل خورشید برای ۲۴ ساعت داده شده

- | | | |
|---------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1. Astronomical Ephemeris | 2. Sextant | 3. American Ephemeris |
| 4. Sun's Declination | 5. Real (Apparent) Sun | 6. Mean Sun |
| 7. Interpolation | 8. Linear Interpolation | |

است، بعبارت دیگر تفاوت میل خورشید در دو روز متوالی در نظر گرفته شده است.

مثال (۶-۱) — میل خورشید را در ساعت ۱۰ صبح پنجم ماه فوریه سال ۱۹۴۷ در طول جغرافیایی 45° شرقی، محاسبه کنید.

مقادیر میل خورشید در روزهای پنجم و ششم فوریه و مقدار تغییر آن در یک روز به شرح زیر از جدول نجومی گرفته شده است:

تغییر در روز میل خورشید به وقت متوسط گرینچ^۱ در نیمه شب تاریخ
پنجم فوریه $-16^{\circ} 14' 24''$

$+1083''/9$

ششم فوریه $-15^{\circ} 56' 20''/1$

$$+1083''/9 = (-16^{\circ} 14' 24'') - (-15^{\circ} 56' 20''/1)$$

راه حل — اول وقت معادل نصف النهار 45° شرقی را برحسب وقت گرینچ حساب می کنیم: از آنجاییکه هر 15° معادل یک ساعت است پس،

$$\text{ساعت } 3 = 45 = \text{طول جغرافیایی } 45^{\circ} \text{ شرقی}$$

چون محل، در مشرق نصف النهار گرینچ است، بنابراین وقت آن جلوتر از وقت گرینچ است و لذا وقتی که در آن محل، ساعت ۱۰ صبح است، در گرینچ ساعت،

$$\text{صبح } 7 - 3 = 10 \text{ صبح} = \text{وقت گرینچ}$$

است و در نتیجه، اندازه میل خورشید با استفاده از درون یابی ساده خطی، خواهد شد:

$$\delta = -16^{\circ} 14' 24'' + \frac{7}{24} \times (1083''/9) = -16^{\circ} 9' 7''/86$$

چنانکه جدول نجومی در دسترس نباشد، می توان برای بدست آوردن میل از فرمول زیر استفاده کرد:

$$\sin \delta = -\cos \left[(D_s - 1) \frac{180^{\circ}}{182/6} \right] \sin (23^{\circ}/45) \quad (6-17)$$

که در آن

δ = میل خورشید برحسب درجه =

D_s = شماره روز سال خورشیدی =

در این فرمول D_s در سال میلادی بدینترتیب در نظر گرفته می شود که در روز ۲۱ دسامبر $D_s = 1$ و در روز بیستم دسامبر سال بعد $D_s = 365$ است. برای بدست آوردن

روزهای هر ماه می‌توان از جدول (۷-۴) در فصل هفتم استفاده کرد.

مثال (۶-۲).— میل خورشید را برای مثال (۶-۱)، با استفاده از فرمول (۶-۱۷)، محاسبه کنید.

راه حل.— با استفاده از فرمول (۶-۱۷) فقط میل خورشید برای روز معین، محاسبه می‌شود و سال مربوط، و ساعت روز دخالتی در فرمول ندارند. البته می‌توان میل خورشید را برای دو روز متوالی محاسبه کرده، سپس بین مقادیر بدست آمده برای ساعت مورد نظر، از طریق درون‌یابی، میل را بدست آورد. طریق استفاده از فرمول (۶-۱۷) در این مثال به شرح زیر است:

$$Ds = ۱۱ \text{ (کسر ماه دسامبر)} + ۳۱ \text{ (ژانویه)} + ۵ \text{ (فوریه)}$$

$$Ds = ۴۷$$

$$\sin \delta = -\cos \left[(۴۷ - ۱) \frac{۱۸^\circ}{۱۸۲/۶} \right] \sin (۲۳^\circ/۲۵)$$

$$\delta = -۱۶^\circ/۲۴۱۸۵۹$$

$$\delta = -۱۶^\circ ۱۴' ۳۵''/۶۹$$

بالاخره می‌توان با استفاده از جدول (۶-۱)، میل خورشید را برای هر روز سال میلادی استخراج کرد. مقادیر میل اعلام شده در این جدول، معدل چهار ساله یک دوره سال کبیسه است. ممکن است مقادیر میل خورشید برای سالهای بخصوصی، اندکی با مقادیر جدول، متفاوت باشد، اما در انقلاب تابستانی و زمستانی، مقدار تفاوت، قابل اغماض است و در اعتدالین که مقدار تفاوت زیاد است، از ۸ الی ۹ دقیقه در سالهای کبیسه و در سالهای بلافاصله ماقبل آنها بیشتر نمی‌شود. در سالهای دیگر مقدار تفاوت از حدود ۳ دقیقه حتی در اعتدالین، بیشتر نمی‌گردد.

میل خورشید حاصل از این جدول برای مثال (۶-۲)، در پنجم ماه فوریه، برابر:

$$\delta = -۱۶^\circ ۱۵'$$

است.

۵۳. حرکت تقدیمی^۱ (پرسیون) و رقص محوری^۲

حرکت آرام نقاط اعتدالین بطرف مغرب بر روی دایرة البروج، در نجوم، به نام

جدول شماره (۹-۶) - میل خورشید در روزهای سال

روز	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن
	° / '	° / '	° / '	° / '	° / '	° / '
۱	۴ -۲۳	۲۰ -۱۷	۴۹ -۷	۱۸ ۴	۵۴ ۱۴	۵۸ ۲۱
۲	۵۹ -۲۲	۳ -۱۷	۲۶ -۷	۴۲ ۴	۱۲ ۱۵	۶ ۲۲
۳	۵۴ -۲۲	۴۶ -۱۶	۳ -۷	۵ ۵	۳۰ ۱۵	۱۴ ۲۲
۴	۴۸ -۲۲	۲۸ -۱۶	۴۰ -۶	۲۸ ۵	۴۷ ۱۵	۲۲ ۲۲
۵	۴۲ -۲۲	۱۰ -۱۶	۱۷ -۶	۵۱ ۵	۵ ۱۶	۲۹ ۲۲
۶	۳۶ -۲۲	۵۲ -۱۵	۵۴ -۵	۱۳ ۶	۲۲ ۱۶	۳۵ ۲۲
۷	۲۸ -۲۲	۳۴ -۱۵	۳۰ -۵	۳۶ ۶	۳۹ ۱۶	۴۲ ۲۲
۸	۲۱ -۲۲	۱۵ -۱۵	۷ -۵	۵۹ ۶	۵۵ ۱۶	۴۷ ۲۲
۹	۱۳ -۲۲	۵۶ -۱۴	۴۴ -۴	۲۱ ۷	۱۲ ۱۷	۵۳ ۲۲
۱۰	۵ -۲۲	۳۷ -۱۴	۲۰ -۴	۴۳ ۷	۲۷ ۱۷	۵۸ ۲۲
۱۱	۵۶ -۲۱	۱۸ -۱۴	۵۷ -۳	۷ ۸	۴۳ ۱۷	۲ ۲۳
۱۲	۴۷ -۲۱	۵۸ -۱۳	۳۳ -۳	۲۸ ۸	۵۹ ۱۷	۷ ۲۳
۱۳	۳۷ -۲۱	۳۸ -۱۳	۱۰ -۳	۵۰ ۸	۱۴ ۱۸	۱۱ ۲۳
۱۴	۲۷ -۲۱	۱۸ -۱۳	۴۶ -۲	۱۱ ۹	۲۹ ۱۸	۱۴ ۲۳
۱۵	۱۶ -۲۱	۵۸ -۱۲	۲۲ -۲	۳۳ ۹	۴۳ ۱۸	۱۷ ۲۳
۱۶	۶ -۲۱	۳۷ -۱۲	۵۹ -۱	۵۴ ۹	۵۸ ۱۸	۲۰ ۲۳
۱۷	۵۴ -۲۰	۱۶ -۱۲	۳۵ -۱	۱۶ ۱۰	۱۱ ۱۹	۲۲ ۲۳
۱۸	۴۲ -۲۰	۵۵ -۱۱	۱۱ -۱	۳۷ ۱۰	۲۵ ۱۹	۲۴ ۲۳
۱۹	۳۰ -۲۰	۳۴ -۱۱	۴۸ -۰	۵۸ ۱۰	۳۸ ۱۹	۲۵ ۲۳
۲۰	۱۸ -۲۰	۱۳ -۱۱	۲۴ -۰	۱۹ ۱۱	۵۱ ۱۹	۲۶ ۲۳
۲۱	۵ -۲۰	۵۲ -۱۰	۰	۳۹ ۱۱	۴ ۲۰	۲۶ ۲۳
۲۲	۵۲ -۱۹	۳۰ -۱۰	۲۴ ۰	۰ ۱۲	۱۶ ۲۰	۲۶ ۲۳
۲۳	۳۸ -۱۹	۸ -۱۰	۴۷ ۰	۲۰ ۱۲	۲۸ ۲۰	۲۶ ۲۳
۲۴	۲۴ -۱۹	۴۶ -۹	۱۱ ۱	۴۰ ۱۲	۳۹ ۲۰	۲۵ ۲۳
۲۵	۱۰ -۱۹	۲۴ -۹	۳۵ ۱	۰ ۱۳	۵۰ ۲۰	۲۴ ۲۳
۲۶	۵۵ -۱۸	۲ -۹	۵۸ ۱	۱۹ ۱۳	۱ ۲۱	۲۳ ۲۳
۲۷	۴۰ -۱۸	۳۹ -۸	۲۲ ۲	۳۸ ۱۳	۱۲ ۲۱	۲۱ ۲۳
۲۸	۲۵ -۱۸	۱۷ -۸	۴۵ ۲	۵۸ ۱۳	۲۲ ۲۱	۱۹ ۲۳
۲۹	۹ -۱۸	۳ -۸	۹ ۳	۱۶ ۱۴	۳۱ ۲۱	۱۶ ۲۳
۳۰	۵۳ -۱۷	۰۰	۳۲ ۳	۳۵ ۱۴	۴۱ ۲۱	۱۳ ۲۳
۳۱	۳۷ -۱۷	۰۰	۵۵ ۳	۰۰	۵۰ ۲۱	۰۰

جدول (۱-۶) - دنباله - میل خورشید در روزهای سال

روز	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
	۰ / ۱	۰ / ۱	۰ / ۱	۰ / ۱	۰ / ۱	۰ / ۱
۱	۲۳ ۹	۱۸ ۱۰	۸ ۳۰	-۲ ۵۷	-۱۴ ۱۴	-۲۱ ۴۳
۲	۲۳ ۵	۱۷ ۵۵	۸ ۹	-۳ ۲۰	-۱۴ ۳۴	-۲۱ ۵۲
۳	۲۳ ۱	۱۷ ۴۰	۷ ۴۷	-۳ ۴۴	-۱۴ ۵۳	-۲۲ ۱
۴	۲۲ ۵۶	۱۷ ۲۴	۷ ۲۵	-۴ ۷	-۱۵ ۱۱	-۲۲ ۱۰
۵	۲۲ ۵۱	۱۷ ۸	۷ ۳	-۴ ۳۰	-۱۵ ۳۰	-۲۲ ۱۸
۶	۲۲ ۴۵	۱۶ ۵۲	۶ ۴۰	-۴ ۵۳	-۱۵ ۴۸	-۲۲ ۲۵
۷	۲۲ ۳۹	۱۶ ۳۶	۶ ۱۸	-۵ ۱۶	-۱۶ ۶	-۲۲ ۳۲
۸	۲۲ ۳۳	۱۶ ۱۹	۵ ۵۶	-۵ ۳۹	-۱۶ ۲۴	-۲۲ ۳۹
۹	۲۲ ۲۶	۱۶ ۲	۵ ۳۳	-۶ ۲	-۱۶ ۴۱	-۲۲ ۴۶
۱۰	۲۲ ۱۹	۱۵ ۴۵	۵ ۱۰	-۶ ۲۵	-۱۶ ۵۸	-۲۲ ۵۲
۱۱	۲۲ ۱۱	۱۵ ۲۷	۴ ۴۸	-۶ ۴۸	-۱۷ ۱۵	-۲۲ ۵۷
۱۲	۲۲ ۴	۱۵ ۱۰	۴ ۲۵	-۷ ۱۰	-۱۷ ۳۲	-۲۳ ۲
۱۳	۲۱ ۵۵	۱۴ ۵۲	۴ ۲	-۷ ۳۲	-۱۷ ۴۸	-۲۳ ۷
۱۴	۲۱ ۴۶	۱۴ ۳۳	۳ ۳۹	-۷ ۵۵	-۱۸ ۴	-۲۳ ۱۱
۱۵	۲۱ ۳۷	۱۴ ۱۵	۳ ۱۶	-۸ ۱۸	-۱۸ ۲۰	-۲۳ ۱۴
۱۶	۲۱ ۲۸	۱۳ ۵۶	۲ ۵۳	-۸ ۴۰	-۱۸ ۳۵	-۲۳ ۱۷
۱۷	۲۱ ۱۸	۱۳ ۳۷	۲ ۳۰	-۹ ۲	-۱۸ ۵۰	-۲۳ ۲۰
۱۸	۲۱ ۸	۱۳ ۱۸	۲ ۶	-۹ ۲۴	-۱۹ ۵	-۲۳ ۲۲
۱۹	۲۰ ۵۸	۱۲ ۵۹	۱ ۴۳	-۹ ۴۵	-۱۹ ۱۹	-۲۳ ۲۴
۲۰	۲۰ ۴۷	۱۲ ۳۹	۱ ۲۰	-۱۰ ۷	-۱۹ ۳۳	-۲۳ ۲۵
۲۱	۲۰ ۳۶	۱۲ ۱۹	۰ ۵۷	-۱۰ ۲۹	-۱۹ ۴۷	-۲۳ ۲۶
۲۲	۲۰ ۲۴	۱۱ ۵۹	۰ ۳۳	-۱۰ ۵۰	-۲۰ ۰	-۲۳ ۲۶
۲۳	۲۰ ۱۲	۱۱ ۳۹	۰ ۱۰	-۱۱ ۱۲	-۲۰ ۱۳	-۲۳ ۲۶
۲۴	۲۰ ۰	۱۱ ۱۹	۰ ۱۴	-۱۱ ۳۳	-۲۰ ۲۶	-۲۳ ۲۶
۲۵	۱۹ ۴۷	۱۰ ۵۸	۰ ۳۷	-۱۱ ۵۴	-۲۰ ۳۸	-۲۳ ۲۵
۲۶	۱۹ ۳۴	۱۰ ۳۸	-۱ ۰۰	-۱۲ ۱۴	-۲۰ ۵۰	-۲۳ ۲۳
۲۷	۱۹ ۲۱	۱۰ ۱۷	-۱ ۲۴	-۱۲ ۳۵	-۲۱ ۱	-۲۳ ۲۱
۲۸	۱۹ ۸	۹ ۵۶	-۱ ۴۷	-۱۲ ۵۵	-۲۱ ۱۲	-۲۳ ۱۹
۲۹	۱۸ ۵۴	۹ ۳۵	-۲ ۱۰	-۱۳ ۱۵	-۲۱ ۲۳	-۲۳ ۱۶
۳۰	۱۸ ۴۰	۹ ۱۳	-۲ ۳۴	-۱۳ ۳۵	-۲۱ ۳۳	-۲۳ ۱۲
۳۱	۱۸ ۲۵	۸ ۵۲	۰ ۰۰	-۱۳ ۵۵	۰ ۰۰	-۲۳ ۸

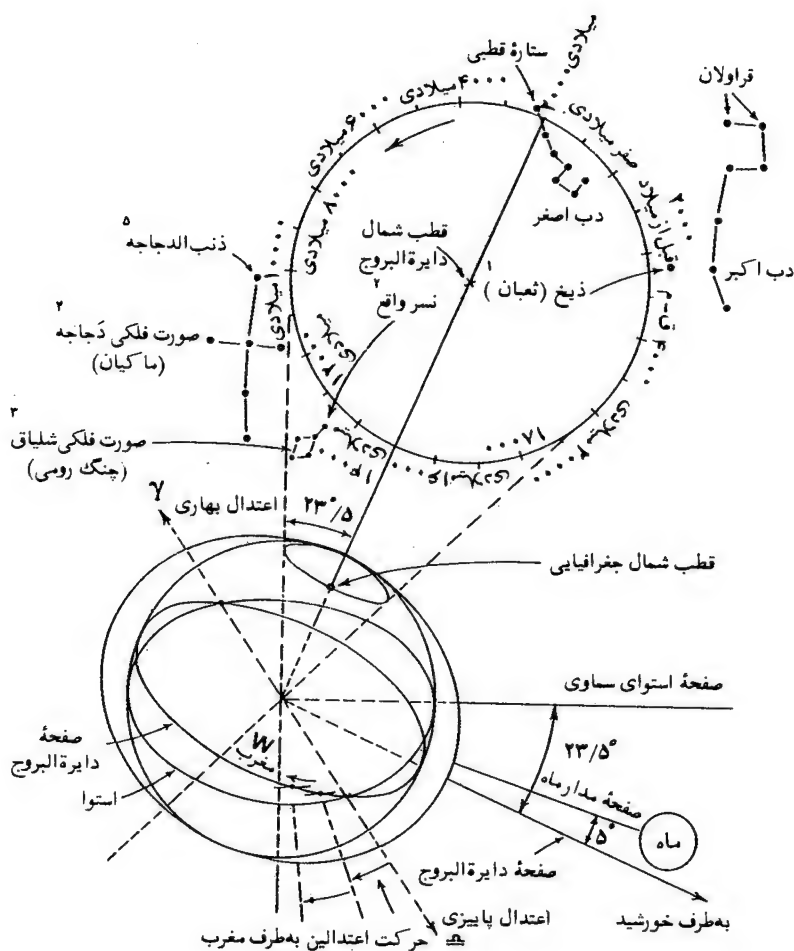
پدیده حرکت تقدیمی شناخته شده است. این حرکت، اساساً بر اثر جذب گرانشی^۱ ماه و خورشید بر روی برآمدگی استوایی^۲ زمین در حال چرخش، بوجود آمده است. بدین سبب محور چرخشی زمین از یک امتداد ثابت در فضا خارج شده، مانند محور یک فرفره چرخان^۳، مسیری تقریباً دایره‌ای را به دور قطبهای دایرة البروج^۴ طی می‌کند. البته این مسیر واقعاً قابل تکرار نیست و همیشه یک مسیر، نمی‌باشد. در نتیجه این حرکت محور زمین، وضعیت نقاط اعتدالین تغییر می‌یابد.

سرعت حرکت چرخشی زمین به دور خود در خط استواء، برابر $1,037$ مایل در ساعت است. این چرخش، به هنگامی که زمین هنوز بصورت توده‌ای مذاب بود، موجب برآمدگی ناحیه استوایی شده است. در نتیجه، زمین بجای اینکه به شکل کره‌ای کامل باشد، به شکل یک شبه کره پخته است. جذب گرانشی، بین یک جسم دوردست و یک شبه کره پخت با آنچه که در مورد یک کره کامل بوجود می‌آید، تا حدی متفاوت است.

مسیر حرکت ظاهری سالیانه خورشید بر پهنه آسمان، یعنی دایرة البروج با صفحه استوای زمین زاویه‌ای برابر 23° و $27'$ دارد. بنابراین صفحه برآمدگی استوای زمین نیز با دایرة البروج زاویه‌ای برابر 23° و $27'$ می‌سازد. صفحه مسیر حرکت ماه به دور زمین نیز زاویه‌ای برابر $18^\circ/5$ تا $28^\circ/5$ با صفحه استوای زمین دارد. بنابراین بجز دو بار در سال، بهنگام اعتدالین که برآمدگی استوایی زمین دایرة البروج را قطع می‌کند، در سایر مواقع خورشید و ماه با جذب گرانشی خود، زمین را بطرف صفحات مداری خود می‌کشند تا تعادل دینامیکی^۵ برقرار گردد. از آنجاییکه ماه به زمین نزدیکتر است، اثر جذب گرانشی آن نیز بیشتر است. زاویه مسیر حرکت ماه به دور زمین با صفحه دایرة البروج، فقط در حدود 5° و $8'$ است و مجموعه اثر جذب گرانشی ماه و خورشید به حرکت تقدیمی اعتدالین در اثر ماه و خورشید^۶ موسوم است، شکل (۳۶-۶).

حرکت تقدیمی اعتدالین در اثر ماه و خورشید، مهمترین نوع آنست و اولین بار، توسط هیپارکوس^۷ در حدود سال ۱۲۵ قبل از میلاد کشف و در اروپا برای نخستین مرتبه توسط اسحق نیوتن^۸ (۱۷۲۷-۱۶۴۲ میلادی) شرح داده شده است.

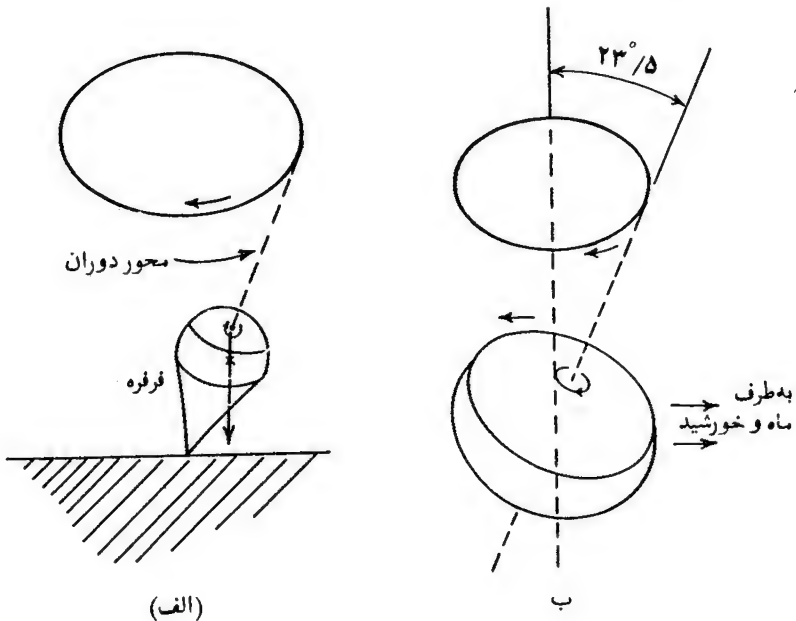
- | | | |
|------------------------------|---------------------|------------------------|
| 1. Gravitational Attraction | 2. Equatorial Bulge | 3. Top |
| 4. The Poles of the Ecliptic | 5. Oblate Spheroid | 6. Dynamic Equilibrium |
| 7. Lunisolar Precession | 8. Hipparchus | 9. Isaac Newton |



شکل (۳۶-۶) - تقدیم اعتدالین در اثر جاذبه ماه و خورشید.

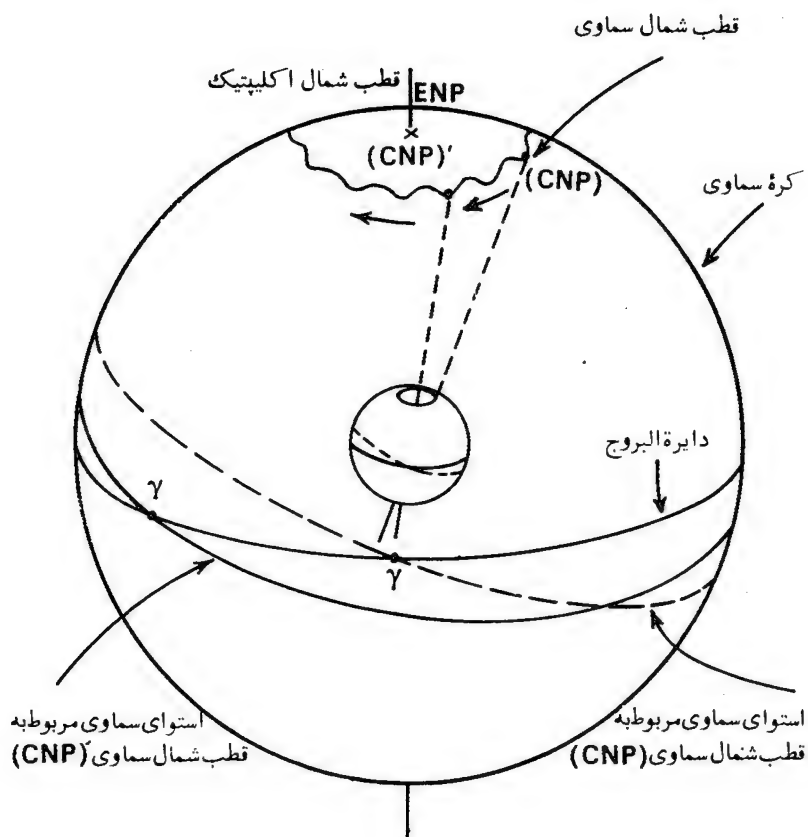
بعلت حرکت چرخشی زمین به دور محورش، زمین هیچوقت در صفحات مداری ماه و صفحه دایرة البروج قرار نمی‌گیرد. چه، نیروی وارده بر یک جسم چرخان اثری مشابه با آنچه که در مورد یک جسم غیر چرخان اتفاق می‌افتد، ندارد. مثلاً یک فرفره، چنانکه در حال چرخش نباشد، در اثر نیروی جاذبه زمین خواهد افتاد. اما یک

فرفره چرخان تحت تأثیر نیروی جاذبه زمین، به دور محوری به موازات امتداد نیروی جاذبه، دارای حرکت تقدیمی است، شکل (۳۷-۶) - ب. به همین ترتیب زمین در حال گردش به دور خود، بجای انطباق برآمدگی استوای آن بر صفحه مداری، دارای حرکت تقدیمی به دور محوری شده که تقریباً امتداد آن بر صفحه مداری عمود است، شکل (۳۷-۶) - الف.



شکل (۳۷-۶) - حرکت تقدیمی فرفره و زمین چرخان. جنب گرانشی زمین بر مرکز ثقل فرفره موجب افتادن آن می شود، اما چرخیدن فرفره مانع افتادنش می گردد. در مورد زمین، حرکت دورانی آن موجب می شود که برآمدگی استوایی زمین در امتداد دایرة البروج قرار نگیرد و حرکت مخروطی شکل محور زمین بوجود آید.

حرکت تقدیمی محور زمین موجب شده است که قطب شمال و جنوب سماوی، مسیری دایره ای شکل بر روی کره سماوی و به دور قطبهای اقلیتیک ببینایند. در شکل (۳۸-۶)، حرکت تقدیمی قطب شمال سماوی (CNP) به طرف مغرب به دور قطب شمال دایرة البروج (ENP)، نمایانده شده است. قطب شمال سماوی در یک دوره تقریباً $26,000$ ساله یک دایرة کامل را به دور قطب شمال اقلیتیک می پیماید.



شکل (۶-۳۸) — حرکت تقدیمی و رقص محوری بر کره سماوی. وضعیت استوای سماوی با توجه به حرکت قطب شمال سماوی تغییر می‌کند. دایره خط پر، دایره استوای سماوی مربوط به قطب شمال سماوی (CNP) و دایره خط چین مربوط به وضعیت (CNP) است.

اگر نیروهای وارده از جانب خورشید و ماه بر استوای برآمده زمین همیشه یک اندازه بود، حرکت تقدیمی حاصل، همیشه یکنواخت می‌شد. اما نیروهای وارده، به دلایل زیر متغیر است:

۱. دویار در سال در اوّل بهار و پاییز، خورشید بر امتداد دایره استوا قرار می‌گیرد و در چنین حالاتی برآمدگی استوای زمین بر صفحه دایره البروج قرار می‌گیرد.

۲. دوبار در ماه، جاذبه ماه بر زمین بر امتداد صفحه مداری آن قرار می گیرد.

۳. مدار حرکت ماه که همیشه در حدود 5° نسبت به دایرة البروج متمایل است، خود دارای حرکت تقدیمی به دور اقلپتیک است. بدین ترتیب که محور عمود بر مدار حرکت ماه یک مخروطی را در حدود کمی کمتر از 19° سال به دور محور عمود بر دایرة البروج می پیماید. این اثر به نام حرکت قهقراپی مدار ماه^۱ نامیده می شود. این اثر به همراه دو پدیده مذکور در فوق موجب رقص محوری^۲ محور زمین در مسیر حرکت تقدیمی آن می گردد. محور زمین بجای طی یک دایرة کامل به دور قطبهای دایرة البروج، مانند آنچه که در شکل (۳۸-۶) نشان داده شده، یک منحنی تناوبی^۳ را می پیماید.

در اینجا چند اثر ناشی از حرکت تقدیمی محور زمین شرح داده می شود:

مهمترین اثر ناشی از حرکت تقدیمی، تغییر مختصات ستارگان است. از آنجاییکه بعد یک ستاره از نقطه اعتدال بهاری، در نظر گرفته می شود، هر گونه تغییر در وضعیت آن، موجب تغییر بعد ستاره می گردد. هنگامیکه قطب شمال سماوی از وضعیت (CNP) به وضعیت (CNP)'، در شکل (۳۸-۶)، بطرف مغرب می رود، در نتیجه محل برخورد دایرة البروج و استوای سماوی نیز تغییر محل داده و از نقطه اعتدال بهاری γ بطرف مغرب به نقطه اعتدال بهاری γ' بر روی دایرة البروج می رسد و بعد ستارگان با گذشت زمان اضافه می شود. تغییر مکان استوای سماوی نیز موجب تغییر میل ستارگان می گردد. از آنجاییکه دوره حرکت تقدیمی مخروطی شکل در حدود $25,800/-$ سال طول می کشد، لذا تغییر محل نقطه اعتدال بهاری (γ) در یکسال خواهد شد:

$$\frac{360^\circ \times 60' \times 60''}{25,800} = 50''/22 \quad \text{در سال}$$

این عدد، ثابت حرکت تقدیمی^۴ است.

همچنین از آنجاییکه محل نقطه اعتدال بهاری بر روی دایرة البروج به آرامی به سمت مغرب تغییر مکان می یابد، لذا طول ستارگان نیز به آرامی تغییر پیدا کرده و به مرور اضافه تر می شود. اما عرض ستارگان ثابت می ماند، زیرا فاصله آنها تا دایرة البروج تغییر نمی یابد، چه، محل خود دایرة البروج بدون تغییر است.

رَقص محوری نیز در مدت تناوب ۱۹ ساله، موجب تغییرات کمی در مختصات ستارگان می‌شود. این تغییرات کم بوده و بیشترین میزان آن "۹ (ثابت رقص محوری)^۱ است. در مواردی مانند میزان کردن یک تلسکوپ، غالباً از این تغییر صرف‌نظر می‌شود، اما تغییرات مربوط به حرکت تقدیمی را باید همیشه در نظر گرفت که بتوان تلسکوپ را با دقت میزان کرد.

بعلت حرکت تقدیمی، محور چرخشی زمین در طول زمان، بطرف ستارگان مختلف قرار خواهد گرفت، شکل (۳۶-۶). ستاره قطبی^۲ که روشنترین ستاره در نزدیکی قطب شمال سماوی فعلی است، همیشه ستاره قطبی باقی نخواهد ماند. در حدود سال ۱۳،۰۰۰/— میلادی، ستاره روشن نزدیک به قطب شمال سماوی، ستاره نسر واقع^۳ در صورت فلکی شلیاق^۴ (چنگ رومی) خواهد بود.

وضعیت و قرار گرفتن ستارگان بر پهنه آسمان، که توسط منجمین و نویسندگان زمانهای قدیم تصویر شده است، دیگر با وضعیت ستارگان در حال حاضر مطابقت ندارد. لذا رصدخانه‌ها و آثار تاریخی قدیمی، مانند اهرام مصر، دیگر در امتدادهای مورد نظر سازندگان آنها قرار ندارند.

از زمانی که هیپارکوس (منجم یونانی، ۱۳۰ ق. م.)، منطقه البروج را بطور منظم تشریح و ترسیم کرد، در حدود ۲،۱۰۰/— سال می‌گذرد. در این مدت تغییر مکان مداوم و آرام نقطه اعتدال بهاری بسمت مغرب و در نتیجه تغییر دستگاههای مختصات مربوط، که بر مبنای نقطه اعتدال بهاری استوارند، موجب شده که حدود بروج دوازده‌گانه منطقه البروج، تقریباً ۳۰ درجه به سمت مغرب، تغییر مکان دهد. بنابراین وقتی که گفته می‌شود که آفتاب در برج حمل^۵ قرار گرفته، در حقیقت در برج حوت^۶، درست در سمت مغرب برج حمل، قرار دارد.

در اینجا، دوباره به شکل (۳۴-۶)، در مورد فصول چهارگانه برمی‌گردیم و اثر حرکت تقدیمی را بر چگونگی فصول در دو نیمکره شمالی و جنوبی، مورد بررسی قرار می‌دهیم. ۱۳،۰۰۰/— سال بعد از حالا، زمستان در نیمکره شمالی زمانی آغاز خواهد شد که زمین در وضعیت ۱ باشد. یعنی زمستان وقتی شروع می‌شود که فاصله زمین تا خورشید حداکثر باشد و این موجب سردتر شدن آب و هوای زمستان می‌شود. در نیمکره جنوبی، وضعیت برعکس خواهد بود. در حال حاضر زمستان در وضعیت ۱ شروع

می‌شود که فاصله زمین تا خورشید حداکثر است.

سیزده هزار سال بعد، زمستان در نیمکره جنوبی در وضعیت ۳ شروع خواهد شد که فاصله زمین تا خورشید حداقل است.

در حال حاضر قطب شمال سماوی نزدیک ستاره قطبی است. عکسهایی که توسط تلسکوپهای ثابت، از این ستاره گرفته شده است، دایره‌های کوچکی را به مرکز قطب شمال سماوی نشان می‌دهد. عکسی که در سال ۱۹۱۷ گرفته شده در مقایسه با عکس سال ۱۹۴۰، مسیر ستاره قطبی، دارای شعاع بزرگتری است؛ عبارت دیگر ستاره قطبی در سال ۱۹۴۰ نسبت به سال ۱۹۱۷ به قطب شمال سماوی، نزدیک‌تر بوده است. در فاصله سال ۱۹۱۷ تا ۱۹۴۰ فاصله ستاره قطبی از قطب شمال سماوی، بانداژه ۷ دقیقه قوسی تقلیل یافته که نتیجه حرکت تقدیمی محور چرخشی زمین است.

می‌بایست توضیح داده شود که پدیده‌های حرکت تقدیمی و رقص محوری، در اثر نیروهای خارج از کره زمین بوجود آمده‌اند که در نتیجه، موجب تغییر امتداد محور چرخشی زمین در فضا می‌شوند. اما می‌توان گفت که در اثر این پدیده، کل جرم زمین نسبت به محور چرخشی، ثابت و به همراه تغییرات محور چرخشی حرکت می‌کند. چنانکه اگر امروز پرچمی را در نقطه قطب شمال جغرافیایی نصب کنیم، —/۱۳،۰۰۰ سال بعد، محل پرچم همچنان قطب شمال جغرافیایی است و عرض جغرافیایی آن همان ۹۰ درجه باقی خواهد ماند.

از آنجائیکه حرکت تقدیمی و رقص محوری، اثری در تغییر عرض جغرافیایی بر روی کره زمین ندارند، لذا از این بابت موجب تغییرات آب و هوا نمی‌گردند. اگرچه، همانطور که توضیح داده شد با در نظر گرفتن یک تقویم کامل، موجب انتقال فصول می‌شوند.

قبلا در بخش (۴-۱)، فصل اول، در مورد تغییرات عرض جغرافیایی در اثر پدیده‌های دیگر صحبت شده است.

نوع دیگر حرکت تقدیمی، حرکت تقدیمی سیاره‌ای^۱ است که در اثر جذب گرانشی ناشی از سیاره‌های مهم^۲ ایجاد می‌گردد. در این پدیده، زمین از مسیر حرکت انتقالی خود، به سمت مسیر حرکت سیاره‌های مربوط، به دور خورشید، کشیده می‌شود. در نتیجه، دایره البروج در امتداد دایره استوای سماوی، انتقال پیدا می‌کند که موجب تغییر مکان نقاط اعتدالین بطرف مشرق می‌گردد. این حرکت در بُعد، طول و عرض

ستارگان اثر می‌گذارد، اما در میل ستارگان تأثیری ندارد، زیرا فاصله آنها تا استوای سماوی، بدون تغییر می‌ماند.

حرکت تقدیمی ناشی از اثر ماه و خورشید و حرکت تقدیمی سیاره‌ای، بعنوان تغییرات درازمدت^۱ شناخته شده‌اند. مجموعه دو حرکت تقدیمی، به نام حرکت تقدیمی عمومی^۲ معروف است.

۵۴. تقویم

تقویم به هر کدام از روشهایی اطلاق می‌شود که برای نگهداشتن حساب روزها، بکار گرفته می‌شوند. تقویم مجموعه قواعدی را گویند که بتوان شرح وقایعی را به ترتیب زمانی و یا گاه‌شماری^۳ بر آن مبنا، بنا نهاد. در عمل، تقویم ممکن است بصورت یک جدول، یک کتاب و یا یک سری از صفحات باشد که نشانگر روزهای هفته، ماهها و گاهی شماره ترتیب روز در سال باشد.

گاهی یک تقویم، اطلاعات بیشتری را شامل می‌شود، مثل تاریخ تعطیلهای و وقایع تاریخی و همچنین اطلاعات نجومی مانند اهلۀ قمر^۴، طول روز، ساعت‌های طلوع و غروب خورشید، خورشید و ماه‌گرفتگی و جذرومد.

لغت انگلیسی تقویم^۵ دارای ریشه لاتینی^۶ است که از اسم روز اول ماه در زمان رومیها^۷، ناشی شده است. کوشش اقوام و ملل مختلف در بوجود آوردن تقویم، نشانه شروع مطالعات نجومی آنهاست. با استقرار یک تقویم خاص و ثبت وقایع در مدت زمان طولانی، تقویم یک ملت جزء تاریخ آنها حساب شده و علاقه به آن در میان کسانی که آن را بکار می‌برند، افزون می‌شود. لذا اصلاح و تغییر یک تقویم، امری مشکل بوده، حتی مدلل ترین اصلاحات پیشنهادی، موجب مقاومتهای شدید می‌شود.

اساسی ترین واحدهای مورد استفاده در تقویم، روز، ماه و سال است که بترتیب، از حرکات زمین، ماه و خورشید بدست آمده‌اند. نکته پیچیده تقویمهای مختلف، در عدم یکسانی دوره‌های نجومی، مبنای آنهاست. نوری که از خورشید و ماه می‌آید بر مبنای

1. Secular (Long Period) Variations

3. Chronology

6. Kalendae

4. Phases of the Moon

7. Roman Times

2. General Precession

5. Calendar

دوره‌های روز خورشیدی^۱ و ماه هلالی^۲ است، در حالیکه فصول، بر مبنای سال برجی^۳ است.

بسیاری از تقویمهای زمانهای پیشین، در اصل، بر مبنای ماه^۴ بوده‌اند. سال عبارت از ۱۲ ماه ۳۰ روزه بوده و با در میان افزودن^۵ ماهها و روزها بطور حساب شده و یا غیر حساب شده، ترتیبی فراهم می‌شد که طول سال با سال شمسی^۶ هماهنگ گردد. روز: روز مدت زمانی است که زمین یک بار به دور خود می‌گردد. با توجه به نحوه حساب طول مدت گردش زمین و مبنای محاسبه آن نسبت به جهتهای مختلف در فضا، چند نوع روز تعریف می‌شود.

برای لغت روز، معنیهای مختلفی وجود دارد. قدیمیترین معنی آن طول مدت روشنایی و یا روز طبیعی^۷ است که در مقابل مدت تاریکی در شب است. در حال حاضر کلمه روز بطور معمول به این معنی اطلاق می‌گردد.

اما بیشترین معنی معمول آن مجموعه طول مدت تاریکی و روشنایی و یا شب و روز است. حتی به این معنی هم تعاریف مختلفی برای روز موجود است. اقوام بابلی در قدیم^۸ شروع روز را طلوع آفتاب می‌گرفتند. یونانیان و کلیمی‌ها، غروب آفتاب را بعنوان شروع روز در نظر داشتند. مصریان و رومیها شروع آن را از نصف شب می‌گرفتند، که در حال حاضر بیشتر کشورها همینطور عمل می‌کنند.

روز شمسی حقیقی^۹ (ظاهری): زمان بین دو عبور پیاپی مرکز قرص خورشید از نصف النهار زمینی. یک محل، روز شمسی حقیقی (ظاهری) نامیده می‌شود. اصطلاح ظاهری بدان سبب است که گردش خورشید در طول روز در آسمان، یک گردش ظاهری است و در حقیقت این زمین است که به دور خود می‌چرخد. بعبارت دیگر روز شمسی حقیقی، مدت زمانی است که زمین نسبت به مرکز قرص خورشید، یک بار به دور خود می‌گردد. طول مدت یک روز شمسی حقیقی، در تاریخهای مختلف، در طول سال، متغیر است. این بدان سبب است که سرعت زمین در طی حرکت انتقالی آن به دور خورشید ثابت نبوده بلکه متغیر می‌باشد و همچنین سطح دایرة البروج نسبت به سطح استوای سماوی، متمایل است.

تغییرات طول روز شمسی حقیقی برای تمام نقاط روی زمین یکسان است، اما

- | | | | |
|------------------------------|------------------|------------------|------------------------|
| 1. Solar Day | 2. Synodic Month | 3. Tropical Year | 4. Lunar |
| 5. Intercalation | 6. Solar Year | 7. Natural Day | 8. Ancient Babylonians |
| 9. Apparent (Real) Solar Day | | | |

طول روز طبیعی و یا طول مدت روشنائی برای مکانهای مختلف متفاوت بوده، بستگی به فاصله آنها از دایره استوا و یا عرض جغرافیایی آنها دارد. طول مدت یک روز شمسی حقیقی در طی یکسال از ۲۴ ساعت و ۳۰ ثانیه در ماه دسامبر تا ۲۳ ساعت و ۵۹ دقیقه و ۳۹ ثانیه در ماه سپتامبر متغیر است.

روز شمسی متوسط^۱: برای تعریف روز شمسی متوسط، می‌بایست ابتدا خورشید میانگین یا متوسط^۲ را تعریف کرد. خورشید متوسط عبارت از نقطه‌ای فرضی است که با سرعتی یکنواخت و برابر سرعت متوسط خورشید واقعی^۳ بر روی دایره البروج، در امتداد دایره استوای سماوی در حال حرکت باشد. عبارت دیگر خورشید متوسط، دایره استوای سماوی را با سرعتی یکنواخت در طی یکسال شمسی می‌پیماید، در حالیکه خورشید واقعی دایره البروج را با سرعتی غیریکنواخت در طی یکسال شمسی طی می‌کند.

زمان بین دو عبور پیاپی خورشید متوسط از نصف‌النهار زمینی یک محل، روز شمسی متوسط نامیده می‌شود. طول زمانی یک روز شمسی متوسط با ساعتهای معمولی، دقیقاً ۲۴ ساعت است.

روز نجومی^۴: در زبان لاتین، لغت Sidus به معنی ستاره^۵ است و لغت Sidereal از همین کلمه مشتق شده است. زمان بین دو عبور پیاپی نقطه اعتدال بهاری از نصف‌النهار را روز نجومی می‌نامند. مانند آنچه که در مورد روز شمسی مصطلح است، بین روز نجومی ظاهری^۶ و روز نجومی متوسط^۷ فرق هست، اما اختلاف آنها جزء کوچکی از ثانیه است.

یک روز نجومی متوسط ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴/۰۹۰۵۴ ثانیه است و بنابراین از روز شمسی متوسط که ۲۴ ساعت کامل است باندازه ۳ دقیقه و ۵۵/۹۰۴۶ ثانیه کوتاهتر است.

چنانکه در بالا گفته شد، روز نجومی با توجه به نقطه اعتدال بهاری سنجیده می‌شود. در طی مثال بعدی اختلاف موجود را چنانکه نسبت به یک امتداد ثابت در فضا در نظر گرفته شود، مورد بررسی قرار می‌دهیم.

مثال (۳-۶)— چنانکه زمان بین دو عبور پیاپی یک امتداد ثابت در فضا را نسبت به نصف‌النهار یک محل در نظر بگیریم، اختلاف آن با زمان دو عبور پیاپی نقطه

- | | | | |
|-------------------|--------------------------|----------------------|-----------------|
| 1. Mean Solar Day | 2. Mean Sun | 3. True Sun | 4. Sidereal Day |
| 5. Star | 6. Apparent Sidereal Day | 7. Mean Sidereal Day | |

اعتدال بهاری از نصف النهار محل، که همان روز نجومی است، به چه اندازه ای خواهد بود؟

راه حل — زمان بین دو عبور پیاپی یک امتداد ثابت در فضا نسبت به نصف النهار یک محل، از طول مدت یک روز نجومی بلندتر است. این مطلب، بعلت حرکت تقدیمی نقطه اعتدال بهاری به سمت مغرب است. هر نقطه ای بر روی زمین که بطرف مشرق به دور خود می چرخد، در مقایسه با یک امتداد ثابت زودتر به نقطه اعتدال بهاری خواهد رسید. تقدیم اعتدال بهاری در یک سال برجی، در حدود $50/22$ ثانیه در امتداد دایره البروج است. اما قبلاً در فصل چهارم، در مثال (۴-۶)، این نتیجه حاصل شد که هر یک درجه در امتداد دایره البروج برابر $0/917416$ درجه در امتداد دایره استوای سماوی است. بنابراین تقدیم نقطه اعتدال بهاری که در طی یک روز نسبت به دایره استوای سماوی صورت می گیرد، به این صورت خواهد شد:

$$\frac{50''/22 \times 0/917416}{365/2422} = 0/1261426 \text{ ثانیه قوسی}$$

این بدان معنی است که زمین در یک دور خود، معادل

$[0/1261426 - (360^\circ \times 360'')] = 0/1261426$ ثانیه قوسی را در یک روز نجومی می پیماید. اما از طرف دیگر یک روز نجومی برابر $86,164/09$ ثانیه زمانی است و در نتیجه، اختلاف مورد نظر به این شکل در خواهد آمد:

$$\frac{(86164/09 \text{ ثانیه}) \times (0/1261426 \text{ ثانیه قوسی})}{[(360 \times 3600) - 0/1261426]} = 0/00839 \text{ ثانیه قوسی}$$

بنابراین، زمان دو عبور پیاپی یک امتداد ثابت در فضا، با اندازه $0/0084$ ثانیه از روز نجومی بلندتر است. اینگونه روز نجومی که نسبت به یک امتداد ثابت در فضا سنجیده می شود، از نظر تئوری حایز اهمیت است و نام و اصطلاح بخصوصی برای آن موجود نیست.

طول روز طبیعی: گردش ظاهری خورشید به دور محور زمین یک مسیر فکری شکل را در طول سال می پیماید. این مسیر در هر روز، یک حلقه از مسیر فکری شکل و یا تقریباً یک دایره بموازات سطح استوای سماوی است. بعلت متمایل بودن محور چرخشی زمین نسبت به سطح مدار حرکت انتقالی زمین، اندازه میل خورشید و در نتیجه، دایره مسیر گردش ظاهری روزانه خورشید، روز بروز تغییر می کند. برای یک ناظر معین، صفحه

استوای سماوی بوسیله صفحه افقی ناظر که شب و روز را از هم جدا می‌کند، قطع شده و به دو نیمه تقسیم می‌شود.

طول شب و روز برای تمام نقاط روی استوای زمین، بدون در نظر گرفتن اثر شکست نور در طلوع و غروب خورشید، برابر است. بجز در مناطق قطبی، شکست نور خورشید موجب می‌شود که طول مدت استقرار خورشید در بالای افق روزانه باندازه چهار دقیقه اضافه شود؛ طلوع خورشید دو دقیقه زودتر و غروب آن دو دقیقه دیر انجام می‌پذیرد. بنابراین زمانی که خورشید واقعاً در بالای افق است، چهار دقیقه کمتر از مدتی است که ظاهراً خورشید در بالای افق در پهنه آسمان دیده می‌شود.

با فاصله گرفتن از استوای زمین و رفتن به نقاط شمالیتر و یا جنوبیتر آن، نابرابری طول شب و روز بتدریج بیشتر می‌شود. در قطبها وضعیت متفاوت است و یک شب تقریباً شش ماهه یک روز تقریباً شش ماهه را در پی دارد. علی‌رغم نابرابری طول شب و روز، در هر نقطه معین بر روی زمین و در یک تاریخ معلوم، مدت زمانی که خورشید در بالای افق است شش ماه و با گذشت دوازده ماه، طول مدت زمانی که خورشید در زیر افق و یا شب است، نیز شش ماه خواهد بود. البته این مطلب بدون در نظر گرفتن اثر شکست نور است که طول مدت روز را افزون می‌کند. اگر زمین فاقد هرگونه اتمسفری بود، مجموع طول روزهای طبیعی و طول شبها در هر نقطه زمین در طی یکسال کاملاً برابر بود.

طول مدت شب و روز را می‌توان از فرمول (۱۵-۶) بصورت زیر محاسبه کرد: چنانچه قبلاً توضیح داده شد، می‌توان زاویه ساعتی طلوع و غروب خورشید (قرار-گرفتن خورشید در افق) را از فرمول زیر حساب کرد

$$\cos h = -\tan \delta \tan \varphi$$

اگر از تغییرات میل خورشید در طول روز صرف‌نظر شود، خواهیم داشت: (زاویه ساعتی خورشید در طلوع و یا غروب برحسب زمان) $\times 2 =$ طول روز و یا

$$\text{طول روز} = \frac{2 \times h}{15} \quad (6-18)$$

و به همین ترتیب

$$\text{طول شب} = 2 \times \left(\frac{180^\circ - h}{15} \right) \quad (6-19)$$

حال با استفاده از فرمول (۱۵-۶)، مطلب را بیشتری می گیریم:

در خط استوا، $\varphi = 0$ است و لذا خواهیم داشت:

$$\cosh = 0$$

$$h = 90^\circ$$

$$\text{ساعت} = \frac{2 \times 90}{15} = 12 = \text{طول شب (و یا روز)}$$

بنابراین چنانکه قبلاً هم گفته شد، برای تمام مقادیر میل خورشید، طول شب و روز برای تمام نقاط روی خط استوا برابراند.

در لحظه اعتدال بهاری و پاییزی میل خورشید برابر صفر درجه ($\delta = 0$) است،

$$\cosh = 0 \quad h = 90^\circ$$

در نتیجه،

$$\text{ساعت} = \frac{2 \times 90}{15} = 12 = \text{طول شب (و یا روز)}$$

بنابراین برای تمام مقادیر عرض جغرافیایی، φ ، یعنی برای تمام نقاط روی زمین،

طول شب و روز در زمان اعتدالین برابر است.

اگر $\delta = (90^\circ - \varphi)$ باشد، خواهیم داشت:

$$\cosh = -\tan(90^\circ - \varphi)\tan\varphi$$

$$\cosh = -1 \quad h = 180^\circ$$

$$\text{ساعت} = \frac{2 \times 180}{15} = 24 = \text{طول روز}$$

این بدان معنی است که خورشید غروب نخواهد داشت.

همچنین اگر $\delta = -(90^\circ - \varphi)$ باشد،

$$\cosh = 1$$

$$h = 0 \text{ درجه}$$

$$\text{طول روز} = 0$$

منظور این است که خورشید طلوع نخواهد داشت.

طول مدت بین الطلوعین: بین الطلوعین که در بامداد فلق و در شامگاه شفق

نامیده می شود، اصطلاحاً به هوای گرگ و میش و یا با روشنی کم اطلاق می شود که شب را از روز و یا روز را از شب متمایز می کند. وقتی خورشید در زیر صفحه افق قرار می گیرد

و باصطلاح غروب می‌کند، تاریکی دفعه‌تاً فرامی‌رسد، چه، اشعه خورشید هنوز بر طبقات اتمسفر در بالای سر ناظر می‌تابد و آن را روشن می‌کند. ذرات بخار آب و سایر ذرات موجود در اتمسفر، نور خورشید را منعکس و آن را در تمام جهات پخش می‌کنند. با فاصله گرفتن بیشتر خورشید از سطح افق بطرف پایینتر، مقدار کمتری از طبقات اتمسفر بالای سر ناظر، مورد تابش نور قرار می‌گیرد و لذا، نور، پراکنده شده و در نتیجه، روشنائی، کمتر می‌گردد. نتیجه رصد‌های انجام شده نشان داده است که روشنائی مربوط، مادامی که خورشید باندازه ۱۸ درجه در زیر سطح افق قرار گیرد، ادامه دارد. بنابراین برای بدست آوردن طول مدت بین الطلوعین می‌بایست مدتی را که فاصله سمت الرأس خورشید (Z) از ۹۰ درجه به (۱۰۸° = ۹۰° + ۱۸°)، در شامگاه، و از ۱۰۸ درجه به ۹۰ درجه، در صبحگاه می‌رسد، محاسبه کرد. برای انجام این منظور می‌توان فرمولهای (۵-۶) و (۱۵-۶) را مورد استفاده قرار داد:

$$\cos h = \frac{\sin a}{\cos \delta \cos \varphi} - \tan \delta \tan \varphi$$

$$\cosh = -\tan \delta \tan \varphi$$

اگر h' ، زاویه ساعتی انتهای بین الطلوعین در غروب و h زاویه ساعتی غروب آفتاب باشد، می‌توان نوشت:

$$\sin a = \sin(90^\circ - Z) = \cos Z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos h'$$

$$\cos 108^\circ = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cosh' \quad (20-6)$$

که زاویه ساعتی غروب آفتاب همان فرمول ذکر شده قبلی است:

$$\cosh = -\tan \delta \tan \varphi$$

از دو فرمول فوق می‌توان مقادیر h و h' را برای مقادیر داده شده φ و δ محاسبه کرده، سپس طول بین الطلوعین در شامگاه را حساب کرد:

$$h' - h = \text{طول شفق} \quad (21-6)$$

تقسیمات روز: طول یک روز به ۲۴ ساعت تقسیم شده است. روز نجومی از یک تا ۲۴ ساعت شماره‌گذاری می‌شود، در حالیکه روز عرفی^۱ به دو قسمت ۱۲ ساعتی تقسیم می‌گردد و لذا اصطلاحات قبل از ظهر (A.M.) و بعد از ظهر (P.M.)^۲ بعثت همین

1. Division of the Day
2. Civil Day
3. Ante Meridian (Forenoon)
4. Post Meridian (Afternoon)

تقسیم‌بندی ۱۲ ساعته، بوجود آمده است. برای اجتناب از بکار بردن مفاهیم قبل و بعد از ظهر، روش تقسیم‌بندی ساعات روز عرفی از یک تا ۲۴ ساعت، در بسیاری از کشورها بکار گرفته شده است.

هفته: هفته، یک واحد زمانی تقویمهاست که تقریباً در همهٔ ممالک بکار گرفته می‌شود. شمارهٔ هفت، آن را به‌اهلهٔ قمر مرتبط می‌سازد، اما در حقیقت یک واحد ساختگی^۱ زمان است. قبلاً فکر می‌شد که هفته در زمانهای پیشین در تمام دنیا معمول بوده، اما در حقیقت، اقوام یهودی^۲، نخستین قومی بودند که هفته را مرسوم کردند، گرچه ممکن است آن را از اخترگویان کلدانی^۳ گرفته باشند.

همچنین با توجه به کتاب اوّل تورات با نام کتاب پیدایش، سفر تکوینی^۴، دنیا در ۶ روز خلق شد و خالق جهان در روز هفتم به‌استراحت نشست. در دنیای مغرب زمین^۵، بکار بردن هفته به‌قرن سوم قبل از میلاد برمی‌گردد. در بسیاری از زبانها، اسامی هفت روز هفته از هفت جرم سماوی شناخته شده برای قدیمیان، ناشی شده است. این هفت جرم سماوی عبارتند از: خورشید، ماه، مریخ^۶ (بهرام)، عطارد^۷ (تیر)، مشتری^۸ (برجیس)، زهره^۹ (ناهید) و زحل^{۱۰} (کیوان).

ماه: در تقویم، یا گاهنامهٔ گرگوری^{۱۱}، گاهنامه‌ای که گرگوری سیزدهم آن را درست کرد و امروز هم متداول است، ماه، به هر یک از ۱۲ قسمت سال اطلاق می‌شود. هر یک از این قسمت‌ها به‌ماه عرفی^{۱۲} یا ماه تقویمی^{۱۳} موسوم‌اند. از این ماه‌ها، فوریه ۲۸ روز—در سالهای کبیسه^{۱۴} ۲۹ روز—سپتامبر، آوریل، ژوئن و نوامبر ۳۰ روز و ژانویه، مارس، مه، ژوئیه، اوت، اکتبر و دسامبر ۳۱ روز است.

در سال هجری شمسی متداول در ایران، ۱۲ ماه به‌ترتیب، فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور هر کدام ۳۱ روز، مهر، آبان، آذر، دی، بهمن هر کدام ۳۰ روز و اسفند ۲۹ روز—در سال کبیسه ۳۰ روز—است.

در نجوم، اصطلاح ماه، به‌دوره‌ای اطلاق می‌شود که اساس آن حرکت ماه باشد. یک ماه قمری^{۱۵}، مدت زمانی است که در آن، دورهٔ اهلهٔ ماه طی می‌شود. این دوره که براساس یک دور کامل اهلهٔ قمر است به‌نام ماه هلالی^{۱۶} نیز معروف است. طول

- | | | | |
|-------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------|
| 1. Artificial | 2. Hebrews | 3. Chaldean Astrologers | 4. Genesis |
| 5. Western World | 6. Mars | 7. Mercury | 8. Jupiter |
| 9. Venus | | | |
| 10. Saturn | 11. Gregorian Calendar | 12. Civil Month | 13. Colendar Month |
| 14. Leap Years | 15. Lunar Month (Lunation) | | |
| 16. Synodic Month | | | |

مدت یک ماه قمری، بطور متوسط $29/5$ روز است. رصد ماه در تعداد زیادی از ماه‌های قمری متوالی، موجب شده است که طول متوسط یک ماه قمری دقیقاً تعیین گردد. طول مدت متوسط بدست آمده برای یک ماه قمری ($29/53059$) روز عرفی و یا 29 روز و 12 ساعت و 44 دقیقه و $78/2$ ثانیه است. این طول مدت، در خیلی از تقویمها، بکار گرفته شده است. اندازه یک ماه قمری نسبت به طول مدت متوسط آن، ممکن است تا 13 ساعت تغییر کند.

چند نوع ماه دیگر وجود دارد، از جمله ماه برجی^۱، ماه نجومی^۲، ماه آنومالیستیک^۳، و ماه گره‌ای^۴.

ماه برجی، $27/32158$ روز و متوسط زمانی است که طول ماه در آن 360 درجه اضافه شود.

ماه نجومی $27/32166$ روز و متوسط زمانی است که از دو عبور پیاپی ماه نسبت به یک امتداد ثابت در فضا بدست می‌آید.

ماه آنومالیستیک، $27/55455$ روز و متوسط زمانی است که از دو عبور پیاپی ماه از نزدیکترین فاصله به زمین بدست می‌آید. ریشه این اسم، لغت آنومالی^۵ است که در نجوم به معنای فاصله زاویه‌ای یک سیاره از نقطه حضیض آن است که از خورشید دیده شود.

ماه گره‌ای یا نادیکال، $27/21222$ روز و متوسط زمانی است که از دو عبور پیاپی ماه از دایرة البروج بطرف شمال بدست می‌آید. اصولاً گره^۶، محل برخورد مدار یک سیاره با دایرة البروج است و اسم این نوع ماه از همین تعریف ناشی شده است.

سال: سال واحدی از زمان است که به منظور برابر کردن طول مدت حرکت انتقالی زمین به دور خورشید، ایجاد شده است. پیش از سالهای 4000 قبل از میلاد، مصریان، طول سال را 365 روز می‌دانستند. این مدت از شمارش روزها، بین دو طلوع دورگرد^۷ و پیاپی ستاره شعرای یمانی^۸، بدست آمده بود. ستاره شعرای یمانی (کاروان-کش، شباهنگ)، پرنورترین ستاره آسمان شب، و در صورت فلکی کلب اکبر^۹ (سگ بزرگ) قرار دارد. طلوع و یا غروب دورگرد یک ستاره و یا یک سیاره، عبارت از طلوع و یا غروب همزمان آن با خورشید است. دو طلوع پیاپی ستاره شعرای یمانی درست

1. Tropical Month

2. Sidereal Month

3. Anomalistic Month

4. Nodical Month

5. Anomaly

6. Node

7. Helical Rising

8. Sirius (Dog Star)

9. Canis Major

قبل از طلوع آفتاب مبنای محاسبه مصریان بود و بین دو طلوع دورگردد، ۳۶۵ روز، بطول می‌انجامیده است که در سایر موارد، بعلت نزدیکی بیش از حد این ستاره به خورشید، قابل رؤیت نبوده است.

در بین منجمین، چند نوع سال مطرح است، از جمله، سال برجی^۱، سال نجومی^۲ و سال آنومالیستیک^۳.

سال برجی: سال برجی که به سال شمسی^۴، سال فصلی^۵ و سال اعتدالی^۶ نیز موسوم است، سالی است که تقویم گرگوری بر مبنای آن استوار است و آن عبارت از فاصله بین دو عبور پیاپی خورشید بر روی دایرة البروج از نقطه اعتدال بهاری است و تقریباً $365/24220$ روز و یا ۳۶۵ روز و ۵ ساعت و ۴۸ دقیقه و $46/08$ ثانیه، بطول می‌انجامد. قبل از سال ۱۹۶۷ و از سال ۱۹۵۶، سال شمسی، بعنوان تعریف واحد زمان، مرسوم در علوم فیزیک و مهندسی، یعنی ثانیه، بکار می‌رفت. در سال ۱۹۵۶، کمیته بین‌المللی اوزان و مقیاسات ثانیه را بعنوان کسر $31,556,925/9747$ از سال شمسی، که خاتمه آن در سی و یکم دسامبر ۱۸۹۹ بوده است، — موسوم به صفرم ژانویه ۱۹۰۰ میلادی در متون نجومی — در ساعت ۱۲ به وقت تقویمی^۷ (به وقت جدول نجومی)، تعیین کرد. علت تعیین یک تاریخ مشخص، بدان سبب بوده است که طول سال شمسی مطلقاً ثابت نیست.

طول سال شمسی تدریجاً و به آرامی کاهش می‌یابد، در حالیکه طول سالهای نجومی و آنومالیستیک کم کم و به آرامی، زیاد می‌شود. تغییر طول سال شمسی در یک قرن، کمتر از یک ثانیه است. از سال ۱۹۶۷، ثانیه، به منظور مطابقت با ساعت اتمی، دوباره تعریف شده است.

سال شمسی، مبنای تقویم معمول در ایران، به نام سال هجری شمسی نیز معروف است.

سال نجومی: سال نجومی متوسط یک دور کامل زمین به دور خورشید نسبت به ستارگان ثابت است. طول مدت آن $365/25636$ روز شمسی متوسط است. تفاوت آن با سال شمسی $0/01416$ روز و یا ۲۰ دقیقه و $23/424$ ثانیه است. علت این اختلاف بدان سبب است که در سال شمسی، بعلت حرکت تقدیمی نقطه اعتدال

- | | | | |
|------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------|
| 1. Tropical Year | 2. Sidereal Year | 3. Anomalistic Year | 4. Solar Year |
| 5. Seasonal year | 6. Equinoctial Year | 7. International Committee on Weights | |
| and Measures | 8. January 0, 1900 | 9. Ephemeris Time | |

بهاری به میزان ۵۰/۲۲ ثانیه و یا ۰/۰۱۴ درجه به سمت مغرب، خورشید یک دور کامل را نمی‌پیماید و بلکه (۰/۰۱۴ - ۳۶۰) درجه را طی می‌کند. بنابراین حرکت ظاهری خورشید در امتداد دایرة البروج به سمت مشرق، به میزان یک درجه

$$\frac{۳۶۵/۲۴۲۲۰}{۳۶۰ - ۰/۰۱۴} = ۱/۰۱۴۵۹۹ \text{ روز}$$

بطول می‌انجامد؛ عبارت دیگر، خورشید، یک درجه را در اندکی بیش از یک روز طی می‌کند. در نتیجه، معادل روز حرکت تقدیمی خورشید خواهد شد:

$$\text{روز } ۰/۰۱۴ \times ۱/۰۱۴۵۹۹ = ۰/۰۱۴۱۶$$

یعنی سال شمسی ۰/۰۱۴۱۶ روز از سال نجومی کمتر است که همان عدد مذکور در فوق است.

رابطه بین سال نجومی و شمسی بصورت زیر است:

$$\frac{\text{سال نجومی}}{۳۶۰^\circ} = \frac{\text{سال شمسی}}{۳۶۰^\circ - ۵۰''/۲۲} \quad (۶-۲۲)$$

چنانکه قبلاً گفته شد، در یک سال شمسی ۳۶۵/۲۴۲۲ روز شمسی متوسط و در یک سال نجومی ۳۶۵/۲۵۶۳۶ روز شمسی متوسط وجود دارد. در مثال بعدی تعداد روزهای نجومی در یک سال شمسی را محاسبه می‌کنیم:

مثال (۶-۴) — سال شمسی از چند روز نجومی تشکیل شده است؟

راه حل — تعداد ساعات شمسی متوسط^۱ در یک روز شمسی متوسط ۲۴ ساعت است، پس تعداد ساعات شمسی متوسط در یکسال شمسی، خواهد شد:

$$\text{ساعت شمسی متوسط } ۳۶۵/۲۴۲۲ \times ۲۴ = ۸۷۶۵/۸۱۲۸$$

چنانکه طول یک روز نجومی را ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴/۰۹۰۵۴ ثانیه و یا ۲۳/۹۳۴۴۶۹ ساعت بگیریم، تعداد روزهای نجومی در سال شمسی خواهد شد:

$$\frac{۸۷۶۵/۸۱۲۸}{۲۳/۹۳۴۴۶۹} = ۳۶۶/۲۴۲۲ \text{ روز نجومی}$$

سال نوری^۲: سال نوری یک واحد زمانی نیست و برای بیان فاصله اجرام سماوی بکار گرفته می‌شود، و آن عبارت از مسافتی است که نور در یکسال نجومی می‌پیماید و برابر $۱۰ \times ۵/۸۷۹$ مایل است.

سال آنومالیستیک: سال آنومالیستیک متوسط فاصله زمانی دو عبور پیاپی زمین

از نزدیکترین فاصله اش تا خورشید است و طول آن ۳۶۵/۲۵۹۶۴ روز شمسی متوسط، می باشد.

انواع تقویم: سه نوع اساسی تقویم توسط بشر وضع شده است. این سه تقویم عبارتند از تقویم قمری^۱، تقویم شمسی^۲، و تقویم قمری شمسی^۳ که براساس اهله قمر و حرکت سالیانه ظاهری خورشید استوارند.

تقویم قمری: قدیمترین نوع تقویم و متداولترین آن در قدیم، تقویم قمری است. در این تقویم ماه عرفی^۴ تقریباً همان ماه قمری^۵ واقعی، و اولین روز هر ماه عرفی تقریباً روزی است که ماه نو، حادث می شود. یک شخص بیسواد که قادر به خواندن تقویم نباشد، بسادگی از روی اهله قمر می تواند با تقریب خوبی تاریخ روز در ماه را بداند. در تقویم قمری سال شمسی ملاک عمل نیست.

برای اینکه طول ماههای قمری عدد صحیح باشد و مطابقتی بین ماهها بوجود آید، یک راه حل قدیمی این بود که ماههای قمری عرفی را، بجای ۲۹/۵۳۰۶ روز، یک در میان ۲۹ و ۳۰ روز بگیرند. بدینترتیب طول متوسط ماه قمری ۲۹/۵ روز می شد و این، بمقدار ۰/۰۳۰۶ روز از طول متوسط ماه قمری کمتر بود. بعدها تقویم قمری عموماً به ۱۲ ماه قمری در یکسال قمری ۳۵۴ روزه، تبدیل شد و بدینترتیب، سال قمری باندازه (روز ۳۶۷۲/۰ = ۰/۰۳۰۶ × ۱۲) از دوره اهله قمر عقب می ماند.

یک راه نسبتاً دقیق برای جبران این اختلاف، اضافه کردن یک روز به تقویم در هر دوره سه ساله بود. راه حلهای مشابه، در میان افزودن^۶ سه روز به تقویم، در هر هشت سال، یا هفت روز در هر نوزده سال، و یا یازده روز در هرسی سال بوده است. تمام این راه حلها بکار گرفته شده اند و آخرین آنها یعنی در میان افزودن یازده روز در هر ۳۰ سال، در بین مسلمانان رواج دارد. انتخاب سال معین برای افزودن روزها در تقویم، تقریباً اتفاقی بوده و روزها معمولاً به آخرین ماه کوتاه سال اضافه می شده که بتوان بسادگی آن را بخاطر آورد.

تقویم اسلامی یکی از تقویمهای قدیمی است که دارای ۱۲ ماه قمری ۲۹ یا ۳۰ روزه بوده و هیچ ماهی بعنوان میان افزون به آن اضافه نمی شود و کوششی برای انطباق آن با سال شمسی صورت نمی گیرد. در نتیجه تعطیلات مختلف در طی یک دوره ۳۳ ساله، در تمام فصول گردش می کند. برای انطباق آن با طول واقعی ماههای قمری، هر

1. Lunar Calendar

2. Solar Calendar

3. Lunisolar Calendar

4. Civil Month

5. Lunar Month

6. Intercalate

سی سال یازده روز به آن اضافه می‌شود. در نتیجه، این تقویم دارای یک دوره تقویمی ۳۰ ساله^۱ است. در این تقویم ۱۹ سال ۳۵۴ روزه و یازده سال در میان افزوده وجود دارد؛ بدین ترتیب که سالهای دوم، پنجم، هفتم، دهم، سیزدهم، شانزدهم، هیجدهم، بیست و یکم، بیست و چهارم، بیست و هشتم، و بیست و نهم، از دوره سی ساله، سالهای میان افزوده هستند. این دوره ثابت سی ساله سال قمری دارای ۳۶۰ ماه و یا —/۶۳۱، ۱۰ روز است و هر ۲۵۰۰ سال یک روز خطا دارد.

این تقویم ثابت در مسایل مذهبی توسط مسلمین بکار گرفته نمی‌شود. ماه مذهبی^۲ زمانی آغاز می‌شود که هلال ماه نو^۳ پدیدار می‌گردد. این رویداد تقریباً دو روز بعد از حدوث ماه نوه (محاق)، با توجه به تقویم ثابت، اتفاق می‌افتد. مسلمین معمولاً اسم روز را به همراه تاریخ آن ذکر می‌کنند و مسئله عدم انطباق ماه مذهبی و ماه عرفی مشکلی را ایجاد نمی‌کند. روز مذهبی مسلمین در غروب روز قبل از روز عرفی آن شروع می‌شود. سالهای قمری مسلمین از هجرت حضرت محمد(ص) از مکه معظمه به مدینه، در روز جمعه شانزدهم ژوئیه ۶۲۲ میلادی آغاز می‌شود.

تقویم قمری شمسی: زمانی که طول مدت یک سال شمسی در ۳۶۵/۲۵ روز معلوم شد، جستجو برای یک ارتباط دقیق بین سال شمسی و ماههای قمری آغاز گشت. مسئله این بود که چگونه، با بهترین روش، بین سال قمری — که تقریباً ۱۱ روز از سال شمسی کوتاه‌تر است — و سال شمسی، رابطه ایجاد شود.

یکی از اولین راه‌حلهای، اضافه کردن یک ماه به سال قمری در هر دوره سه ساله بود. راه حل دیگر برای ایجاد برابری اضافه کردن ۳ ماه به ۸ سال قمری و یا ۷ ماه به ۱۹ سال قمری است که این تعدیل، به ترتیب برابر یک دوره ۸ ساله و یا ۱۹ ساله سال شمسی است. دوره ۱۹ ساله، به دوره متونیک^۴ موسوم است که اسم آن از نام منجم یونانی، متون^۵ (۴۳۳ قبل از میلاد)، گرفته شده است. متون کشف کرد که در هر دوره ۱۹ ساله شمسی، ۲۳۵ ماه قمری^۶ وجود دارد. هر دو دوره ۸ ساله^۷ و دوره متونیک، توسط یونانیان، بکار گرفته شده است. دوره ۱۹ ساله متونیک تا حدی دقیق است و هنوز در محاسبات تقویم کلیسایی^۸ بکار گرفته می‌شود.

تقویم شمسی: در حال حاضر تقویم قمری در بین بسیاری از ممالک رواج ندارد.

- | | | |
|---------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 1. A Period of 30 Calendar Year | 2. Intercalary Year | 3. Religious Month |
| 4. The Crescent of the New Moon | 5. New moon | 6. Metonic |
| 7. Meton | 8. Lunation | 9. Octennial |
| | | 10. Ecclesiastical Calendar |

به منظور انطباق بیشتر ماههای عرفی^۱ و سال شمسی، کاربرد سال قمری مورد توجه قرار نمی‌گیرد. تعداد ماهها، بهمان ۱۲ ماه در سال محدود شده، اما دیگر، ماهها قمری نیستند و فازهای ماه در هر روزی از ماه عرفی ممکن است اتفاق افتد. فقط طول $۳۶۵/۲۴۲۲$ روز بعنوان طول متوسط سال شمسی، مبنای کار تقویم شمسی است. جزء $۰/۲۴۲۲$ تقریباً نزدیک به کسر $۰/۲۵$ است. بنابراین سال ۳۶۵ روزه شمسی بکار می‌رود و هر چهار سال یک روز بعنوان جبران جزء $۰/۲۵$ ($۱ = ۰/۲۵ \times ۴$) به سال اضافه می‌گردد. سالی که یک روز به آن اضافه می‌شود به سال کبیسه^۲ موسوم است. این راه حل، همان راه حلی است که در تقویم جولوسی^۳ بکار گرفته شده است؛ شرح تقویم جولوسی بعداً خواهد آمد. این تقویم را ژولیوس سزار^۴ درست کرد و پاپ گرگوری^۵ اصلاحاتی در آن بعمل آورد و تا امروز در میان اروپائیان معمول و به نام تقویم گرگوری شناخته شده است. اما چون کسری که می‌بایست جبران شود $۰/۲۴۲۲$ است و نه $۰/۲۵$ ، لذا افزودن یک روز در هر چهار سال، باندازه تفاوت $۰/۲۵$ و $۰/۲۴۲۲$ یعنی $۰/۰۰۷۸$ روز در سال و یا در حدود ۳ روز در هر چهار قرن، اضافه می‌آید.

تقویم جولوسی: قبل از اصلاح تقویم جولوسی، رومیان قدیم، ماه قمری را در تقویم بکار می‌بردند. طول ماهها بین ۳۰ و ۲۹ روز تغییر می‌کرد. طول سال عرفی^۱ فقط ده ماه بود و سال از ۳۹۵ روز تشکیل می‌شد. ماه اول سال، مارس^۶ و ماههای هفتم، هشتم، نهم و دهم به ترتیب به نامهای سپتامبر^۷، اکتبر^۸، نوامبر^۹ و دسامبر^{۱۰} نامیده می‌شدند. این اسامی، از ریشه لاتینی آنها به معنای ترتیب قرارگیری ماهها، گرفته شده است.

مطابق افسانه‌ها، در زمان سلطنت نوما پومپیلیوس^{۱۱} (۷۰۰ قبل از میلاد)، ماههای فوریه^{۱۲} و ژانویه^{۱۳} بعنوان ماههای یازدهم و دوازدهم به سال اضافه شده‌اند. بعدها در تاریخ روم، ماه قمری منسوخ شد و ماههای دوم، چهارم، هفتم و نهم هر کدام ۳۰ روز و بقیه، بجز ماه فوریه، ۳۱ روز بحساب آمد. امپراطوران روم مجاز بودند که به میل خود تقویم را تغییر دهند. تغییرات تقویم وسیله‌ای برای کوتاه و یا بلندتر ساختن دوره‌های حکومتی و قضایی بود. نهایتاً، حساب روزها در روم به وضع بسیار نامنظمی درآمد.

- | | | | |
|----------------------|---------------|-----------------|--------------------|
| 1. Civil Months | 2. Leap Year | Julian Calendar | 4. Julius Caesar |
| 5. Pope Gregory XIII | 6. Civil Year | 7. March | 8. September |
| 9. October | 10. November | 11. December | 12. Numa Pompilius |
| 13. February | 14. January | | |

اصلاح تقویم رومیان توسط ژولیوس سزار عملی شد. او منجم یونانی به نام سوسی‌جنز^۱ را بعنوان مشاور بکار گرفت. تقویم در سال ۴۶ قبل از میلاد تغییر پیدا کرد که به نام سال پایانی درهم‌برهمی^۲ نامیده شد. اول همه، تصمیم گرفته شد که اعتدال بهاری روز ۲۵ ماه مارس باشد، و برای این منظور ۸۵ روز به سال ۴۶ قبل از میلاد اضافه شد. طول سال در ۳۶۵ روز ثابت قرار داده شد، گرچه آنها می‌دانستند که سال شمسی ۳۶۵/۲۵ روز بطول می‌انجامد و همچنین می‌دانستند که با اضافه کردن هر چهار سال یک‌روز، سال با حدوث فصول تطبیق پیدا می‌کرد. یک‌روزی که به آخر ماه فوریه، اضافه می‌شد مطابق آنچه که امروز صورت می‌گیرد، انجام نمی‌گشت، بلکه بعد از یست و چهارم فوریه اضافه می‌گردید.

در اصلاح جولیوسی، روز اول ژانویه، بعنوان شروع کار کنسولها^۳ در روز اول سال تعیین گردید. بنابراین روز اول ژانویه سال ۴۵ قبل از میلاد، شروع تقویم جولیوسی است.

سالهای جولیوسی با طول ۳۶۵ روز و شش ساعت، در حقیقت از سال شمسی با طول ۳۶۵/۲۴۲۲ روز بلندتر است. تفاوت به ۰/۰۷۸ روز در سال و یا در حدود ۳ روز در هر چهار قرن می‌رسد. بنابراین حالا واضح است که در اولین شورای جهانی کلیسایی^۴ که در سال ۳۲۵ بعد از میلاد در شهر نیکائیه^۵ در آسیای صغیر^۶ برگزار شد، تقویم جولیوسی می‌بایست تقریباً به مدت سه روز عقب افتاده باشد. — درحالی‌که عقب افتادن واقعی تقویم جولیوسی چهار روز بود و این نشانه آن می‌تواند باشد که سوسی‌جنز در سال ۴۶ قبل از میلاد به مدت یک‌روز در تعیین اعتدال بهاری اشتباه کرده باشد — از آنجائیکه طول واقعی سال شمسی هنوز شناخته نشده بود، لذا شورای مذکور، کلیه چهار روز عقب افتادن تاریخ جولیوسی را ناشی از اشتباه سوسی‌جنز دانست (بجای یک‌روز) و وقتی که تاریخ اعتدال بهاری را از ۲۵ مارس به ۲۱ مارس برگرداند، معتقد بودند که این تاریخ برای همیشه ثابت خواهد ماند و عید پاک^۷ مسیح (برابر عید فطریا یا عید فصح یهود که مسیحیان این عید را به یاد بود برخاستن حضرت عیسی (ع) از مردگان جشن می‌گیرند) بر مبنای ۲۱ ماه مارس تعیین شد.

تقویم گرگوری^۸: با توضیحات فوق، تقویم جولیوسی با مرور زمان دچار اشتباه

1. Sosigenes 2. The Last Year of Confusion 3. Consuls
4. The First Ecumenical Council 5. Nicaea (Nice) 6. Asia Minor
7. Easter 8. Gregorian Calendar

شد، بدینترتیب که عید پاک، که یک عید بهاری است، نهایتاً می توانست به وسط تابستان بیفتد. در زمان پاپ گرگوری ۱۳، در اواخر قرن ۱۶ میلادی، میزان اختلاف تقویم جولوسی به ده روز بالغ شد؛ اعتدال بهاری سال ۱۵۸۲ به یازدهم مارس افتاد، چه، چنانکه ذکر شد، طول سال شمسی کمتر از ۳۶۵/۲۵ روز بود.

در این زمان طول واقعی سال شمسی شناخته شد و پاپ گرگوری در مطابقت با آن، تقویم را اصلاح کرد. او ده روز از سال ۱۵۸۲ میلادی کم کرد، تا اینکه از سال بعد، اعتدال بهاری دوباره به ۲۱ مارس بیفتد. روز بعد از پنجشنبه چهارم اکتبر، ۱۵۸۲ به جمعه پانزدهم اکتبر تبدیل شد (تداوم روزها تغییر داده نشد و روز جمعه بجای خود باقی ماند). با این تغییر، تقویم جولوسی که تغییر نکرده بود، مرتباً با تقویم گرگوری اختلاف بیشتری پیدا می کرد. گرگوری برای رفع اختلاف بین سال شمسی و تقویم جولوسی، قانونی وضع کرد که هر چهارصد سال سه روز از سال کم گردد. برای این کار، چنین وضع شد که سالهایی که شماره آنها به دو صفر ختم می شود، سال کبیسه به حساب نیایند مگر آنکه دو عدد سمت چپ آنها بر عدد چهار قابل تقسیم باشد. بنابراین در تقویم قدیمی جولوسی سالهای ۱۶۰۰، ۱۷۰۰، ۱۸۰۰، ۱۹۰۰، ۲۰۰۰، الی آخر، می بایست معادل سال کبیسه باشند، اما در تقویم گرگوری سالهای ۱۷۰۰، ۱۸۰۰ و ۱۹۰۰ سال کبیسه نیست ولی سال ۱۶۰۰ و ۲۰۰۰ سال کبیسه است. بدینترتیب حذف سه روز در هر چهارصد سال ساده می شود.

یک نابرابری دیگر باقی می ماند، که سال گرگوری بدینترتیب ۳۶۵/۲۴۲۵ روز می شود و بنابراین باندازه ۰/۰۰۰۳ روز از سال شمسی بلندتر است. این اضافه، در هر ده هزار سال به سه روز بالغ می گردد. اما در چنین مدت درازی، عوامل دیگری وارد می شوند. طول سال شمسی که در اینجا دقیقاً ۳۶۵/۲۴۲۲ روز گرفته شده دارای تغییرات بسیار کندی است و طول آن تغییر می کند. قانون مربوط به این تغییر کاملاً شناخته شده نیست. بعلاوه حرکت وضعی زمین به دور محور چرخشی آن، دستخوش تغییرات است که بعضی از آنها قابل پیش بینی است. بنابراین بی فایده است اگر به فکر میزان تغییر تقویم گرگوری در ۳۰۰۰ الی ۴۰۰۰ سال بعد بیفتیم، چه، ممکن است عوامل دیگری با اثرات بیشتر در این فاصله، در نتیجه، اثر بگذارند.

تمام کشورها بلافاصله اصلاحات گرگوری را بکار نبستند. فرانسه و هلند در دسامبر ۱۵۸۲ آن را بکار گرفتند، ایالت کاتولیک آلمان در سال ۱۵۸۴ و لهستان در ۱۵۸۶ آنرا قبول کردند.

ایالت پرتستان آلمان و کشور سوئیس در سال ۱۷۰۰ میلادی، و انگلستان و مستعمره‌هایش و کشور سوئد آنرا در سال ۱۷۵۲ قبول کردند. در این وقت بجای ده روز، می‌بایست یازده روز از تاریخ کم می‌شد. بالاخره کشورهای ارتدکس^۱، تقویم قدیمی جولوسی را تا قرن بیستم نگاه داشتند، که در این ایام میزان اختلاف به ۱۳ روز رسید. بدینترتیب لازم بود تاریخ بصورت ۲۳/۱۰، ۱۹۲۰ نوشته شود، که عدد ۱۰ تقویم قبلی و عدد ۲۳ تقویم جدید است. در حال حاضر کلیه کشورهای تقویم گرگوری را حداقل برای منظور رسمی، قبول کرده‌اند. لذا می‌توان تقویم گرگوری را بعنوان یک تقویم جهانی منظور داشت، که ایجاد اتحاد در تقویم جهانی، حدود چهار قرن بطول انجامید.

متأسفانه در این بخش راجع به تقویم ایرانی و تاریخچه آن مطلبی نیامده است و خوانندگان ارجمند می‌توانند برای جبران این نقیصه به کتابهای مربوطه مراجعه کنند.

۵۵. فازها و حالات ماه^۲

نور ماه از تابش نور خورشید به سطح آن، ناشی شده است. یک طرف ماه همیشه روشن است و ما، وقتی قادر به مشاهده تمام نیمکره روشن آن هستیم که خورشید و زمین و ماه تقریباً بر یک امتداد قرار گرفته باشند.

فاز، در نجوم، به تغییر شکل ماه در آسمان، بصورتیکه به نظر ما می‌رسد، اطلاق می‌شود. همچنین این اصطلاح در مورد سیاره مریخ و سیاره‌های درونی^۳ نیز بکار می‌رود. تغییر شکل قسمت روشن ماه و سیاره‌ها بعلت تغییر زاویه موجود بین امتداد تابش نور خورشید به آنها و امتداد دید ناظر، صورت می‌پذیرد. بنابراین در فازهای مختلف، مقدار نور منعکس شده خورشید از سطح ماه و یا یک سیاره به سطح زمین تغییر می‌کند.

بعلت حرکت مداری ماه به دور زمین، ماه نسبت به ستارگان آسمان سریعتر از خورشید بسوی مشرق در حال حرکت است. وقتی که ماه، درست بین زمین و خورشید قرار می‌گیرد، فقط قسمت بیرونی و دورتر آن نسبت به زمین، توسط نور خورشید روشن می‌شود و قسمت تاریک آن، به طرف زمین است و ماه قابل رؤیت نمی‌باشد. این فاز ماه، به نام ماه نو (محاق)^۴، نامیده می‌شود. در این حالت فقط ماه در وقت کسوف قابل

رؤیت است. در مرحله ماه نو، ماه نسبت به زمین و خورشید در حالت مقارنه^۱ است. حتی در حالت ماه نو، می بایست یک هلال بسیار باریک از ماه، قابل رؤیت باشد، اما عملاً با چشم، دیده نمی شود تا اینکه ماه ۱۸ ساعته گردد. بعد از ماه نو با ادامه حرکت مداری ماه، بطرف مشرق و به دور زمین، زاویه بین خط واصل بین ماه و زمین و امتداد نور خورشید اضافه می شود. چند شب بعد از ماه نو، لبه نیمه روشن ماه، مانند هلال باریکی، پس از غروب آفتاب، مدتی کوتاه، به چشم می خورد. در این مرحله، قسمت برآمده هلال بجانب مغرب قرار می گیرد که به هلال ماه نو^۲ موسوم است، اگرچه اصطلاحاً به این مرحله هم ماه نو گفته می شود.

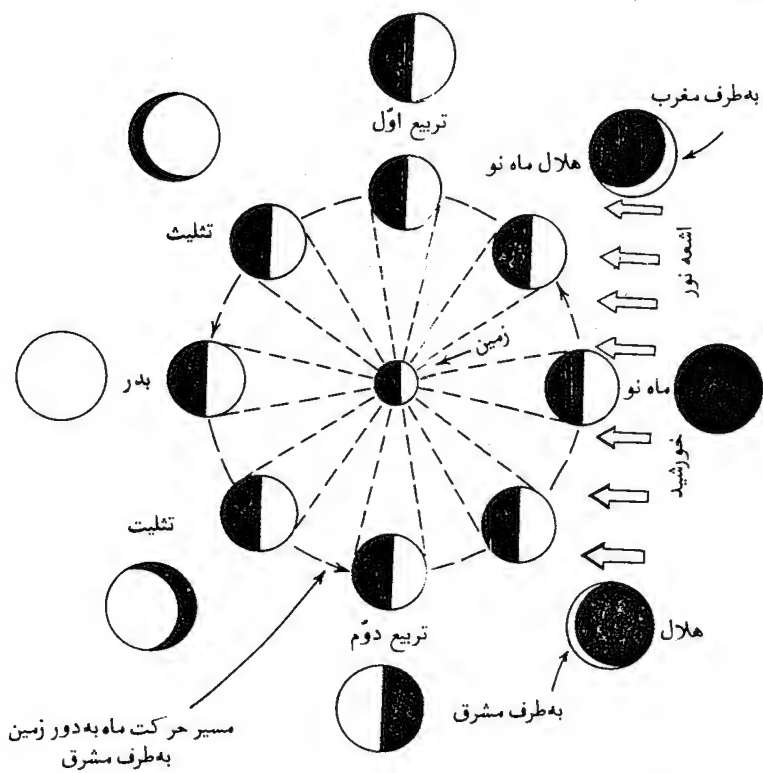
لبه خارجی و یا لبه محدب این هلال که همیشه، بطرف خورشید قرار دارد حاشیه خارجی^۳، نامیده می شود. لبه داخلی و یا لبه مقعر آن، خط مرزی بین روشنی و تاریکی قرص ماه^۴ نامیده می شود. شکل حاشیه خارجی، همیشه ثابت است و فقط به محیط آن افزوده می شود، اما شکل لبه مقعر، دائماً با گذشت روزهای ماه تغییر می کند. دو نوک تیز لبه ها که همیشه بدور از خورشید قرار می گیرد، تیزی دو سر هلال^۵، نامیده می شود. حرکت روزانه ماه، موجب افزایش زاویه بین خط واصل بین اشعه خورشید و خط واصل بین زمین و ماه می شود. در نتیجه، با گذشت روزهای ماه، بعد از حدوث ماه نو، میزان بیشتری از قسمت شرقی قرص ماه روشن شده و اندازه هلال بزرگتر می شود. در حدود یک هفته بعد از ماه نو، ماه در یک چهارم مسیر خود به دور زمین، نصف قرص آن روشن می گردد که آن را تربیع اول^۶ می نامند و ماه، در این مرحله در حالت تربیع^۷ است. در این وضعیت زاویه بین امتداد اشعه خورشید و خط واصل بین ناظر زمینی و ماه ۹۰ درجه و یا بعبارت دیگر فاصله زاویه ای ماه از خورشید ۹۰ درجه است.

با ادامه حرکت ماه، میزان فاصله زاویه ای ماه از خورشید افزون گشته و بیش از نصف قرص ماه روشن می شود که تثلیث^۸ نام دارد. در این مرحله فاصله زاویه ای ماه از خورشید ۱۲۰ درجه است. اصطلاح انگلیسی معادل تثلیث، از لغتی ایتالیایی^۹ گرفته شده و به معنای کوژ پشت^{۱۰} است.

هنگامیکه ماه به نقطه مقابل زمین نسبت به خورشید می رسد؛ و یا بعبارت دیگر

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Aspect of Conjunction | 2. The Crescent after New (Waxing Crescent) |
| 3. Limb | 4. Terminator |
| 5. Cusps | 6. First Quarter |
| 7. Aspect of Quadrature | 8. Gibbous |
| | 9. Gibboso |
| | 10. Hunch Backed |

فاصله زاویه‌ای ماه و خورشید 180° درجه می‌گردد، تمام قرص ماه، روشن بنظر می‌رسد که بدر نامیده می‌شود و ماه در این موقعیت، در حالت مقابله^۲ است. این مرحله ماه در حدود نیمه ماه بعد از حدوث ماه نو، حاصل می‌شود البته در این موقع، ماه که درست مقابل خورشید نسبت به زمین قرار می‌گیرد، اگر بر روی دایره البروج هم قرار داشته باشد، ماه‌گرفتنی صورت می‌پذیرد. بعد از این مرحله، قسمت شرقی قرص ماه (بجای قسمت غربی آن) توسط اشعه نور خورشید روشن می‌شود و فازهای ماه، با ترتیب برعکس، از تثلیث تا تربیع آخر^۳ و سپس تا هلال^۴ و بالاخره تا ماه نور تکرار می‌شود، شکل (۶-۳۹).



شکل (۶-۳۹) — فازها و حالات ماه. نصف کره ماه گرچه همیشه روشن است اما با طی مسیر مربوط، به دور زمین، به صورتهای مختلف دیده می‌شود. در دایره خارجی شکل، فازهای ماه به شکلی که از زمین مشاهده می‌شود، نمایانده شده است.

1. Full Moon
 2. Aspect of Opposition
 3. Last Quarter
 4. Cerscent before
- New

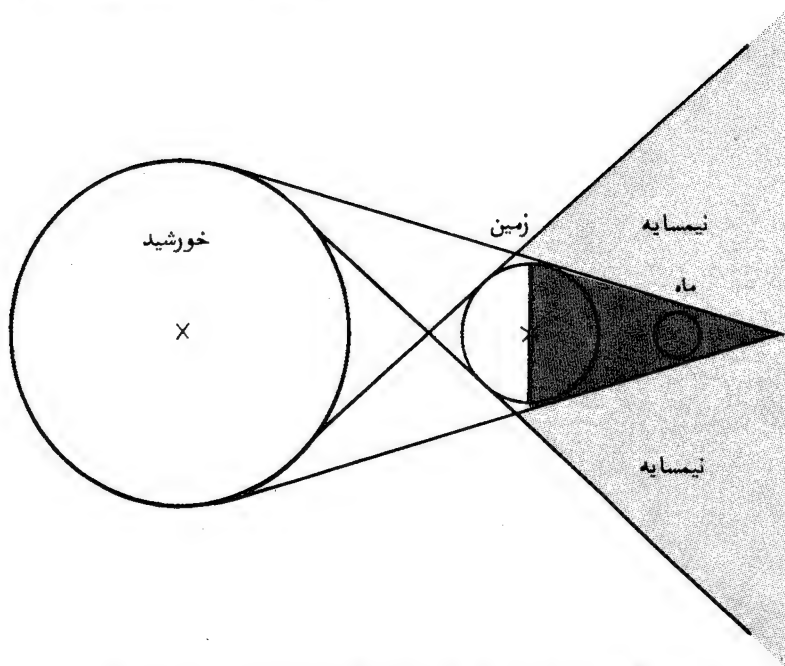
در شرایط مناسب اتمسفری، قسمت تاریک قرص ماه، بصورت خیلی ضعیف قابل رؤیت است. قابل رؤیت بودن قسمت تاریک ماه، بسبب بازتاب نور خورشید از سطح کره زمین به سطح ماه است.

عطارد (تیر) و زهره (ناهید) مانند ماه، دارای فازهای مختلف اند. مریخ (بهرام) دارای فازهای از بدر تا تثلیث است. سیاره های دورتر، بعلاوه بعد فاصله از زمین و خورشید، دارای تغییر فاز نیستند، چه، فاصله زاویه ای آنها از خورشید، تقریباً ثابت است.

۵۶. گرفت

گرفت و یا گرفتگی یک جرم سماوی، عبور آن از سایه جرم سماوی دیگر است. چنانکه به جسمی غیرشفاف^۲ و غیرنورانی^۳، از طرف خارج آن، نور تابانده شود، در جهت مقابل امتداد نور تابیده شده، سایه ایجاد می شود. قسمت داخلی منطقه سایه که تاریکتر است به نام تمام سایه^۴، و قسمت روشنتر و خارجی سایه به نام نیم سایه^۵ شناخته می شوند. در منظومه شمسی، تمام سیاره ها و قمرها، اجرام غیرشفاف اند و نور خود را از خورشید می گیرند و در نتیجه، در فضا سایه های بزرگی ایجاد می کنند. برای مثال: چنانکه سایه زمین بر روی ماه بیفتد، ماه از دریافت نور خورشید محروم می شود که اصطلاحاً می گویند ماه گرفته، و پدیده را، ماه گرفتگی^۶ (خسوف) نامند. بعلاوه کروی-شکل بودن سیاره ها، تمام سایه ایجاد شده توسط آنها، به شکل مخروط است. مطابق شکل (۴۰-۶)، مماسهای خارجی، تشکیل مخروط تمام سایه^۷ و مماسهای داخلی، تشکیل مخروط نیم سایه^۸ را می دهند و محور سایه، خطی است که مرکز جسم نوردهنده و نور گیرنده را به همدیگر وصل می کند. خورشید گرفتگی^۹ (کسوف) وقتی اتفاق می افتد که سایه ماه بر روی زمین بیفتد و مانع از رسیدن نور خورشید به قسمتی از سطح زمین گردد. در مقایسه با فواصل نجومی، خورشید و ماه در فاصله کمی نسبت به زمین قرار دارند و به همین دلیل در پهنه آسمان، به شکل قرصهای دایره ای دیده می شوند. لذا گرفتگی ماه و خورشید بصورت پدیده های شگفت آور طبیعی، نمایان می گردد و معمولاً

- | | | | | |
|-------------------------|----------------------|-----------------|----------|-------------|
| 1. Eclipse | 2. Opaque | 3. Non-Luminous | 4. Umbra | 5. Penumbra |
| 6. Lunar Eclipse | 7. The Cone of Umbra | | | |
| 8. The Cone of Penumbra | 9. Solar Eclipse | | | |



شکل (۶۴۰) — سایه و نیمسایه ایجاد شده توسط زمین در اثر تابش نور خورشید به آن.

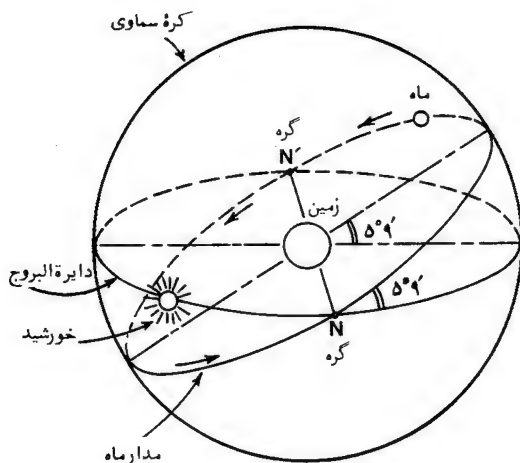
اصطلاح گرفتگی، به گرفتگی ماه و خورشید اطلاق می‌شود.

اجرام دیگر سماوی نیز دارای گرفتگی هستند. سایر سیارات منظومه شمسی، برخی مواقع از پشت خورشید عبور می‌کنند. عطارد (تیر) و زهره (ناهید) گاهی از جلو خورشید می‌گذرند، چه، مدار آنها داخل مدار زمین قرار دارد. به همین ترتیب تعدادی از سیاره‌ها دارای قمر هستند که گاهی از جلو آنها عبور کرده و توسط سیاره‌های خود گرفته می‌شوند. ماه در حین عبور از آسمان، موجب گرفتگی تعداد زیادی از ستارگان می‌شود. در تمام این موارد، لغت گرفتگی معمولاً بکار نمی‌رود زیرا ابعاد ظاهری اجرام سماوی مورد نظر، قابل مقایسه نیستند و با هم خیلی تفاوت دارند. بجای آن، در مورد عبور یک جرم سماوی از مقابل یک جرم سماوی بزرگتر، اصطلاح عبور، و در مورد گرفتگی یک جرم سماوی کوچکتر توسط یک جرم بزرگتر و یا نزدیکتر، اصطلاح استتار و یا ناپدید شدن موقتی یک ستاره، بکار برده می‌شود.

در رابطه با گرفتگی اجرام سماوی، باید توضیح داده شود که در خارج منظومه

شمسی وقتی که یک مجموعه ستاره دوتایی^۱ در امتداد نزدیک لبه صفحه مدار آن، از زمین قابل رؤیت اند، دو ستاره تشکیل دهنده مجموعه، ممکن است موجب گرفتگی^۲ و یا استتار^۳ یکدیگر شوند. این گونه ستارگان دوتایی را ستارگان دوتایی در حال گرفت^۴ می نامند.

برای آنکه گرفتگی ماه و یا گرفتگی خورشید، پیش آید، لازم است که ماه، خورشید، و زمین هر سه در یک صفحه، قرار گیرند. در مورد گرفتگی خورشید، باید مخروط سایه و یا مخروط تمام سایه ماه بر روی زمین بیفتد. در گرفتگی ماه، مخروط تمام سایه زمین، باید ماه را دربرگیرد. اگر سه جرم سماوی، ماه، خورشید و زمین، همیشه در یک سطح قرار داشتند، گرفتگی خورشید در تمام فازهای ماه نو اتفاق می افتاد و ماه گرفتگی، در همه فازهای بدر ماه، صورت می گرفت. البته این مطلب با آنچه که در عمل اتفاق می افتد، مطابق نیست. چه، مدار حرکت ماه به دور زمین در حدود ۵ درجه و ۹ دقیقه نسبت به سطح دایره البروج (سطح مدار زمین) متمایل است. در نتیجه، خورشید و ماه گرفتگی فقط وقتی وقوع می یابد که ماه نو و یا ماه بدر، در یکی از دو گره قرار گیرد، شکل (۴۱-۶). — دو نقطه برخورد مدارهای زمین و ماه را گره می نامند — در شکل گره های ماه در نقطه N نشان داده شده است. محل این گره ها در طی ۱۸/۶ سال،



شکل (۴۱-۶) — گره های مدار ماه، خورشید و یا ماه گرفتگی زمانی اتفاق می افتد که ماه نو و یا ماه بدر، در یکی از این گره ها قرار گیرند.

1. Binary Star System
2. Eclipse
3. Occult
4. Eclipsing Binaries
5. Nodes

یک گردش کامل به دور زمین دارند.

اگر محل گرہ‌های ماه، ثابت بود، خورشید و ماه گرفتگی در فواصل زمانی معین اتفاق می‌افتاد، اما حرکت ماه تحت تأثیر سایر اجرام سماوی تا حدی مختل^۱ شده و از مدار خود منحرف می‌گردد. در نتیجه، مدار ماه، حرکتی دورانی^۲ شکل دارد. بدین- ترتیب که خط عمود بر صفحه مدار حرکت ماه به دور زمین، یک مخروط را در مدت ۱۸/۶ سال به دور محور عمود بر صفحه دایرة البروج می‌پیماید. این، بدان معنی است که تمایل مدار حرکت ماه به دور زمین نسبت به صفحه دایرة البروج در ۵ درجه باقی می‌ماند، اما محل تلاقی دو صفحه (مدار ماه و دایرة البروج) بطرف مغرب تغییر مکان می‌دهد. بنابراین چنانکه قبلاً هم گفته شد، محل گرہ‌ها ثابت نیست، بلکه دارای حرکتی قهقراپی^۳ اند^۴ عبارت دیگر در مدت ۱۸/۶ سال، به دور زمین از طرف مشرق به مغرب، یک گردش کامل می‌کنند.

این پدیده، به نام سیر قهقرایی گرہ‌های مدار ماه، شناخته می‌شود همچنین این پدیده، شبیه حرکت تقدیمی محور زمین است. بعلت سیر قهقرایی گرہ‌ها بجانب مغرب، ۳۴۶/۶۲ روز طول می‌کشد تا خورشید به همان گرہ قبلی برسد. این مدت، به سال خسوف و کسوف^۵ موسوم است.

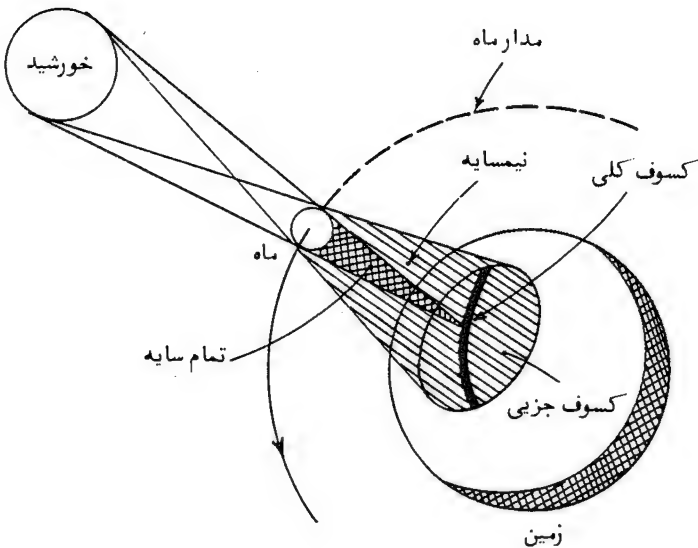
در قدیم، کلدانیها دریافتند که خسوف و کسوف مشابه از نظر وضعیتهای مداری، در یک دوره ۵۸۵/۳۲، روزه (معمولاً ۱۸ سال و ۱۱/۳ روز و یا ۱۰/۳ روز اگر ۵ سال کیسه در این دوره باشد) حادث می‌شود. این مدت در حدود دوره سیر قهقرایی گرہ‌های مدار ماه است (۱۸/۶ سال) اما کاملاً با آن برابر نیست و این دوره، به دوره قمری با تشابه وضعیت، یا ساروز^۶ موسوم است.

دوره قمری با تشابه وضعیت درست برابر ۲۲۳ دوره ماه قمری (۲۹/۵۳۰۶ روز از حدوث ماه نو تا ماه نو بعدی) است. از آنجاییکه برگشت خورشید به همان گرہ قبلی، ۳۴۶/۶۲ روز طول می‌کشد و دقیقاً ۱۹ سال خسوف و کسوف، برابر ۶۵۸۵/۷۸ روز است، بنظر می‌رسد که ۲۲۳ ماه قمری و ۱۹ سال خسوف و کسوف تقریباً برابرند. این بدان معنی است که در پایان هر ساروز، خورشید، ماه، و گرہ‌های مدار ماه در وضعیت تقریباً مشابه قرار دارند و لذا خسوفها و کسوفها فقط با تغییرات بسیار جزئی تکرار می‌شوند.

- | | | | |
|--------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|
| 1. Perturb | 2. Gyrate | 3. Retrograde Motion | 4. Regression of the |
| Nodes of the Lunar Orbit | 5. Eclipse Year | 6. Saros | |

گرفتگی خورشید (کسوف): خورشید گرفتگی وقتی پدید می آید که سایه ماه بر روی قسمتی از زمین بیفتد، شکل (۶-۴۲). در حقیقت می بایست کسوف را گرفتگی زمین نامید، چنانکه در گذشته گاهی همینطور بیان شده است، چه، سایه بر روی زمین می افتد؛ همچنانکه در مورد خسوف، سایه بر روی ماه می افتد. خورشید گرفتگی فقط در صورتی پدید می آید که خورشید، ماه، و زمین تقریباً بر یک امتداد قرار گیرند و این در صورتی است که ماه در حالت مقارنه با خورشید (ماه نو) و در نزدیکی یکی از گره های مدار خود به دور زمین باشد.

در بحث انواع مختلف خسوف و کسوف، سه نکته زیر در رابطه با سه عامل اصلی خسوف و کسوف یعنی خورشید، ماه و زمین حایز اهمیت است:



شکل (۶-۴۲) - کسوف یا گرفتگی خورشید. مسیر کسوف کامل و منطقه کسوف جزئی نشان داده شده است. عرض مسیر کسوف کامل در جاییکه تمام سایه ماه، زمین را قطع می کند، هیچوقت از ۲۷۰ کیلومتر و یا ۱۷۰ مایل بیشتر نمی شود. مناطق پوشیده شده توسط نیمسایه ماه که شاهد کسوف جزئی اند، بسیار وسیعتر است.

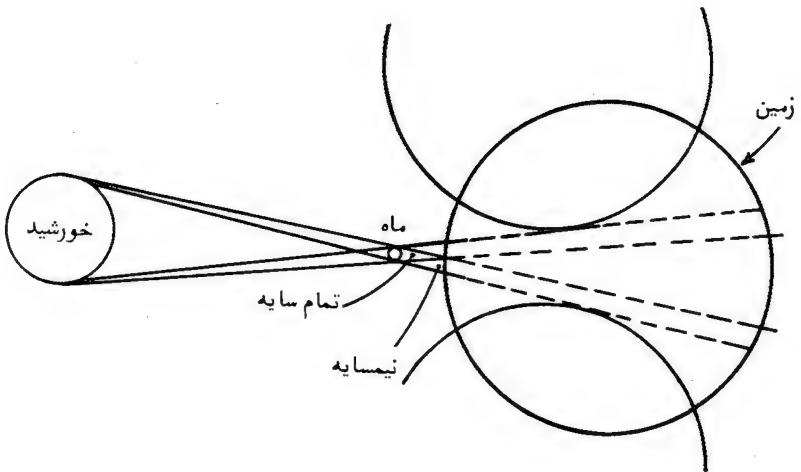
۱. چنانکه قبلاً هم گفته شد، مدار حرکت انتقالی زمین به دور خورشید، بیضی-

شکل است، نه دایره‌ای. در نقطه حضيض (در ماه ژانویه)، فاصله زمین از خورشید حدود $106 \times 2/5$ کیلومتر کمتر از یک واحد نجومی و در نقطه اوج (ماه ژوئیه)، $106 \times 2/5$ کیلومتر بیشتر از یک واحد نجومی است. بنابراین قرص خورشید در ماه ژانویه $1/7$ درصد بزرگتر و در ماه ژوئیه، $1/7$ درصد کوچکتر از قطر زاویه‌ای متوسط آن که $31'$ و $59''$ است، می‌باشد.

۲. مدار حرکت ماه به دور زمین نیز یک بیضی است. فاصله ماه تا زمین در نقطه حضيض ماه $365,000$ و در نقطه اوج، $407,000$ کیلومتر است. از آنجاییکه قطر قرص ماه بطور متوسط تحت زاویه $31'$ و $5''$ دیده می‌شود، نتیجه می‌گیریم که در نقطه حضيض، ماه 7 درصد بزرگتر و در نقطه اوج 6 درصد کوچکتر بنظر می‌رسد. در شرایط متوسط، قرص ماه از سطح زمین کوچکتر از قرص خورشید دیده می‌شود. حتی وقتی که خورشید گرفتگی، مرکزی^۲ است، یعنی وقتی که مرکز قرص ماه بر مرکز قرص خورشید منطبق می‌شود—قرار گرفتن ماه در یکی از گره‌ها—، حلقه خارجی خورشید قابل رؤیت است که آن را خورشید گرفتگی حلقه‌ای^۳ می‌نامند. اما وقتی که ماه در نقطه حضيض است، قطر زاویه‌ای آن $33'$ و $16''$ است که حتی از قطر زاویه‌ای خورشید در ماه ژانویه هم بیشتر است. در نقطه حضيض ماه، خورشید گرفتگی، کامل^۴ است، یعنی تمام قرص خورشید وسیله قرص ماه پوشیده می‌شود.

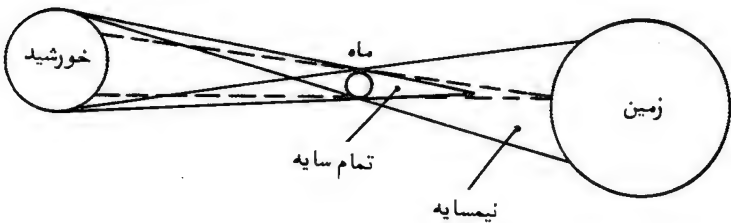
۳. قبل و بعد از خورشید گرفتگی مرکزی، قرص ماه قسمتی از قرص خورشید را می‌پوشاند که آن را خورشید گرفتگی جزئی^۵ می‌نامند. بعضی از خورشید گرفتگی‌ها، در تمام طول مدت آن بصورت جزئی است و این در صورتی است که ماه از نقطه گره آن، بطرف مشرق و یا مغرب، دور باشد و در نتیجه نتواند ایجاد خورشید گرفتگی کامل و یا حلقه‌ای کند.

۴. تشخیص انواع خورشید گرفتگی، با توجه به شکل (۴۳-۶) که سایه ماه در آن نمایانده شده، روشنتر خواهد بود. طول تمام سایه ماه، $373,000$ کیلومتر است، در حالیکه فاصله متوسط ماه و زمین $384,000$ کیلومتر می‌باشد. در نقطه حضيض ماه، فاصله آن از زمین $356,000$ کیلومتر است و تمام سایه ماه به سطح کوچکی از زمین می‌رسد که در آن، خورشید گرفتگی کامل مشاهده می‌شود. در نقطه اوج ماه، فاصله آن از زمین $407,000$ کیلومتر و تمام سایه، باندازه کافی بلند نیست که بتواند



شکل (۶-۴۳) — تمام سایه و نیم سایه ماه در موقع خورشید گرفتگی. خورشید گرفتگی کامل زمانی پدید می آید که خورشید، ماه و زمین تقریباً و یا کاملاً بر روی یک راستا قرار گرفته و ماه به اندازه کافی به زمین نزدیک باشد که تمام سایه آن بتواند به سطح زمین برسد. در مسیری که توسط تمام سایه پوشیده می شود، خورشید گرفتگی کامل است. در سایه روشنتر یعنی در نیمسایه ماه، خورشید گرفتگی جزئی است. وقتی که زمین در دو وضعیت نشان داده شده دیگر باشد، خورشید گرفتگی کامل پدید نخواهد آمد.

به سطح زمین برسد و در این حالت، خورشید گرفتگی را حلقوی گویند، شکل (۶-۴۴).



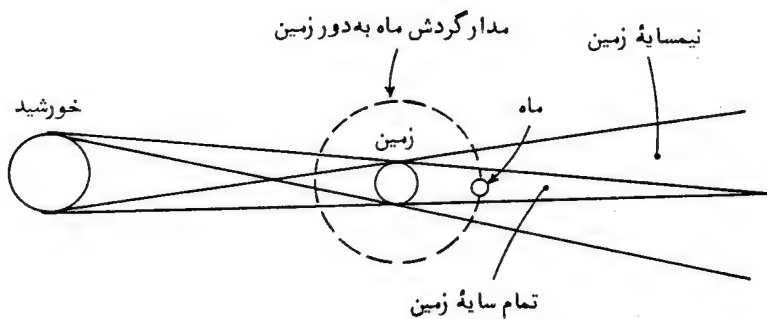
شکل (۶-۴۴) — خورشید گرفتگی حلقوی. در این خورشید گرفتگی شرایط قرارگیری ماه، خورشید و زمین بر یک راستا، مانند خورشید گرفتگی کامل است، اما طول تمام سایه ماه به اندازه ای نیست که به زمین برسد و قرص ماه به اندازه کافی بزرگ نیست که قرص خورشید را بپوشاند، در این حالت یک حلقه نورانی از قرص خورشید به دور قرص ماه دیده می شود.

بیشترین دامنه منطقه خورشید گرفتگی کامل، بر روی زمین تا حد ممکن، حدود ۱۷۰ مایل و یا ۲۷۰ کیلومتر است. از طرف دیگر دامنه توسعه نیمسایه ماه بر روی زمین بسیار بزرگتر می‌باشد.

از آنجاییکه ماه در مدار خود با سرعتی برابر ۱ کیلومتر در ثانیه حرکت می‌کند، سایه آن بر روی زمین نیز تقریباً با همان سرعت حرکت خواهد داشت. اما از طرف دیگر، زمین نیز هم جهت با سایه، با سرعتی در حدود ۰/۵ کیلومتر در ثانیه (در دایره استوا) به دور خود می‌چرخد. بنابراین سرعت سایه بر روی زمین در حدود $(۰/۵ - ۱)$ کیلومتر در ثانیه خواهد بود. منطقه‌ای از سطح زمین را که تمام سایه ماه بر روی آن حرکت می‌کند به نام منطقه کسوف کامل^۱ می‌شناسند. در نتیجه حرکات زمین و ماه، چنانکه از یک نقطه در منطقه کسوف کامل، مشاهده صورت گیرد، خورشید گرفتگی، فقط چند دقیقه بطول می‌انجامد (از یکی دو سه دقیقه تا ۷/۵ دقیقه، بسته به تغییرات قطر زاویه‌ای خورشید و ماه و خروج از مرکز مدار^۲). بعلاوه حرکت چرخشی زمین و محدود بودن منطقه کسوف کامل بر روی آن، زمان متوسط بین دو کسوف کامل در یک نقطه خاص بر روی زمین در حدود ۳۶۰ سال است.

خورشید گرفتگی جزئی در مناطقی از زمین صورت می‌پذیرد که نیمسایه ماه به آنها می‌رسد.

گرفتگی ماه^۳ (خسوف): گرفتگی ماه وقتی پدید می‌آید که سایه زمین بر روی آن بیفتد، شکل (۴۵-۶) و خسوف در صورتی ایجاد می‌شود که خورشید و زمین و ماه هر سه تقریباً بر یک راستا قرار گیرند. مانند حالت گرفتگی خورشید. در مورد گرفتگی ماه



شکل (۴۵-۶) - گرفتگی ماه.

هم، لازمست که ماه در نزدیکی یکی از گره‌های مدار خود باشد. البته در این مورد، ماه باید در حالت مقابله یعنی در فاز بدر باشد. در شکل (۴۵-۶)، سایه زمین نمایانده شده است. در هنگام خسوف، ماه، اول وارد قسمت نیمسایه زمین می‌شود. در این حالت چنانکه ناظری در ماه باشد، خواهد دید که قسمتی از قرص خورشید توسط زمین پوشانده شده است. تشخیص گرفتگی ماه در نیمسایه زمین^۱، مشکل است، چه روشنی سطح ماه، بمقدار کمی کاهش می‌یابد و معمولا این نوع گرفتن ماه از جداول خسوف و کسوف^۲ حذف می‌شود.

وقتی که گرفتگی ماه در نزدیکی یکی از گره‌های آن صورت گیرد، ممکن است گرفتگی آن جزئی و یا کلی باشد. گرفتگی ماه وقتی جزئی^۳ است که قسمتی از کره ماه داخل قسمت تمام سایه زمین گردد، و هنگامی کلی^۴ است که تمام کره ماه داخل قسمت تمام سایه زمین شود.

در فاصله ماه، قطر تمام سایه زمین در حدود $9,000/-$ کیلومتر است، در حالیکه قطر ماه فقط $3,400/-$ کیلومتر می‌باشد. در نتیجه، طول مدت گرفتگی ماه می‌تواند از ۲ الی ۳ ساعت باشد.

تمام گرفتگیهای ماه، در طول مدت آن، در همه نقاط سطح زمین که ماه در آنها طلوع کرده است، قابل رؤیت است؛ حتی در موارد خسوف کلی، قرص ماه با روشنی کمی قابل دیدن است، چه، مقداری از نور خورشید پس از شکست در اتمسفر زمین، به رویه ماه رسیده، موجب روشن شدن آن به مقدار کم می‌گردد. از آنجاییکه اتمسفر زمین نور قرمز را بیشتر از نور آبی از خود عبور می‌دهد، لذا سطح ماه، بهنگام گرفتگی کامل، اندکی قرمز رنگ بنظر می‌رسد.

۵۷. ستاره^۵

ستارگان توده‌های کروی شکل گازی با درجه حرارتهای بسیار زیادند و درخشندگی آنها از خود آنها سرچشمه می‌گیرد، حرارت سطح آنها، به هزاران درجه می‌رسد و درجه حرارت درون آنها بسیار زیادتر است. برای مثال: خورشید ما، در منظومه شمسی، خود، یک ستاره است.

در این درجه حرارت‌های بسیار زیاد، ماده نمی‌تواند بصورت جامد و یا مایع باقی بماند. گازهای تشکیل دهنده ستارگان، بسیار متراکمتر از گازهای موجود در سطح زمین است. علت متراکم بودنشان وجود فشارهای بسیار زیاد در درون آنهاست.

ستارگان در فضا به اطراف حرکت می‌کنند، اما حرکات آنها برای ناظر زمینی محسوس و قابل تشخیص نیست. در طی یکسال، تغییری در وضعیت آنها نسبت به یکدیگر پیدا نمی‌شود. حتی در طی هزارسال هم میزان تغییر محل ستارگان، نمی‌تواند اساسی باشد. وضعیت آنها در حال حاضر، همان وضعیت یک هزارسال پیش است. این ثابت بودن محل ستارگان، بعلت دوری بسیار زیاد ما از آنهاست.

در چنین فواصلی، هزاران سال بطول می‌انجامد تا تغییر قابل توجهی در وضعیت ستارگان، قابل تشخیص گردد. نام ثوابت که به ستارگان اطلاق می‌شود، بعلت ثابت بودن ظاهری وضعیت آنهاست.

جهان، بطور کلی از کهکشانها تشکیل شده، که بزرگترین کهکشان، خود از چندین بلیون ستاره تشکیل گردیده است. ستارگانی را که شب هنگام در پهنه آسمان می‌بینیم، متعلق به کهکشان راه شیری^۱ است که منظومه شمسی در آن، قرار دارد. بنظر می‌رسد که این ستارگان بصورت مسطح در صور فلکی مختلف، بطور ثابت قرار گرفته‌اند، اما در حقیقت آنها در داخل و به دور کهکشان، با سرعت‌های بسیار زیاد در حرکت‌اند و فواصل آنها فقط از طریق سال نوری (فاصله‌ای که نور در یکسال با سرعت $186,000$ مایل در ثانیه طی می‌کند، که در حدود 6×10^{12} تریلیون مایل است) و پارسک^۲ (فاصله‌ای در حدود $3/3$ سال نوری) قابل تصورند. ستارگان زیادی بصورت دوگانه^۳، سه‌گانه^۴ و یا سایر مضارب، موجودند که فاصله آنها از یکدیگر کمتر بوده، حول یک مرکز مشترک، در حال گردش‌اند؛ سایر ستارگان در مجموعه‌های بزرگتر و بصورت خوشه^۵ وجود دارند.

۵۸. سیارات

سیارات که به دور خورشید حرکت می‌کنند، اجرام بزرگ تقریباً کروی شکل‌اند. شناخته شده‌ترین آنها، سیاره زمین است. تمام سیارات منظومه شمسی، نسبتاً سرد

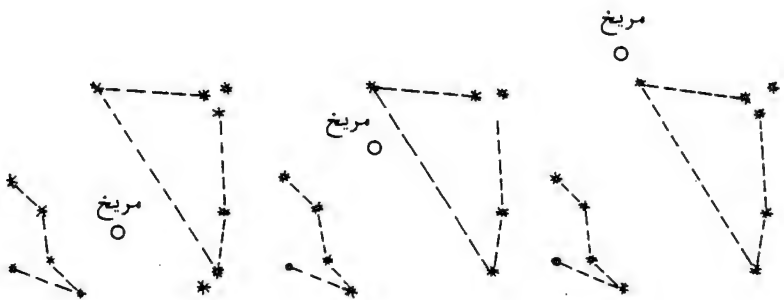
- | | | | | |
|--------------|-----------|---------|-----------|------------|
| 1. Milky Way | 2. Parsec | 3. Pair | 4. Triple | 5. Cluster |
| 6. Planets | | | | |

هستند و روشنی آنها، بعلت بازتاب نور خورشید از سطح آنهاست؛ بعضی از این سیارات را در ایام مختلف، با چشم غیر مسلح می توان مشاهده کرد. ولی سه سیاره، فقط با کمک تلسکوپ، قابل رؤیت اند. در دید اولیه، سیارات مانند سایر ستارگان بنظر می رسند که در پهنه آسمان می درخشند، اما یک ناظر، می تواند سیاره را با توجه به مشخصه های زیر تمیز دهد:

۱. سیارات با اندازه زاویه ای^۱ بزرگتر، با نور یکسانی می درخشند و کمتر چشمک زن هستند، در حالیکه ستارگان اینگونه نیستند و نوری که از آنها به چشمان ما می رسد سرعت در رنگ و شدت آنها، تغییر حاصل می شود. این تغییر رنگ و شدت نور، موجب چشمک زدن^۲ ستارگان می شود.

۲. سیارات در آسمان، دارای حرکت اند مثلا سیاره ای که یک وقت نزدیک ستاره ای ثابت قرار دارد، در وقت دیگر در نزدیکی ستاره دیگری قرار می گیرد. در صورتیکه وضعیت ستارگان نسبت به یکدیگر تغییر نمی کند، شکل (۴۶-۶). لغت انگلیسی سیاره (Planet) از یک لغت یونانی به معنی سرگردان^۳ گرفته شده است.

۳. سیارات از درون تلسکوپ بصورت قرص روشنی مشاهده می شوند و هرچه بزرگنمایی^۴ تلسکوپ بیشتر باشد، قطر قرص مشاهده شده بزرگتر است. اما ستارگان حتی از درون تلسکوپهای بزرگ هم بصورت نقاط روشنی دیده می شوند. حتی با تلسکوپ ۲۰۰ اینچی هم، فقط بصورت نقطه روشنی بنظر می رسند.



دهم مارس ۱۹۵۵

بیستم مارس ۱۹۵۵

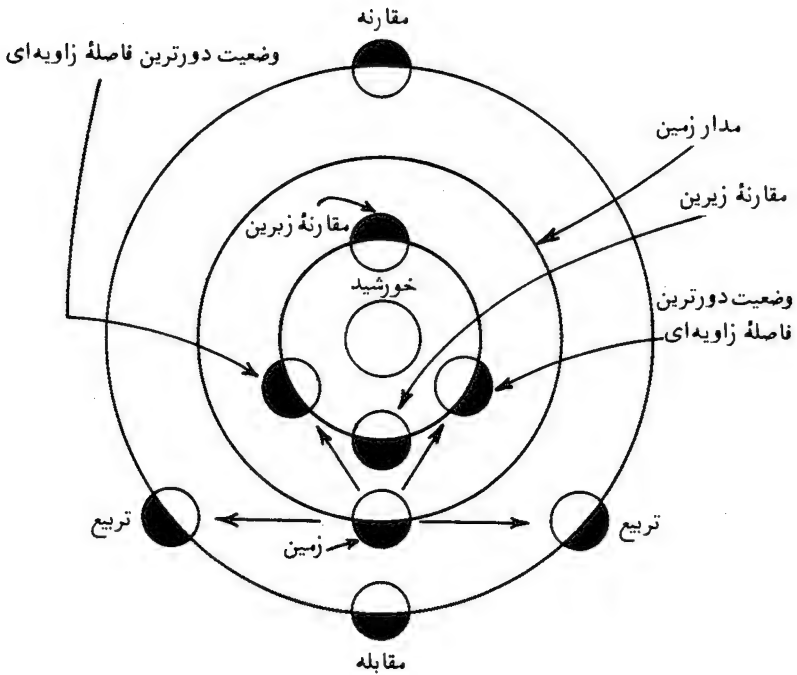
سی ام مارس ۱۹۵۵

شکل (۴۶-۶) — حرکت سیارات در آسمان. در این شکل وضعیت سیاره مریخ نسبت به ستارگان نمایانده شده است. فواصل نسبی ستارگان ثابت است اما وضعیت مریخ نسبت به آنها در طی بیست روز، تغییر یافته است.

۴. سیارات، تنها در یک نوار باریکی از آسمان قابل رؤیت‌اند و حرکات آنها فقط منحصر به همین نوار باریک است، در حالیکه ستارگان در هر جای آسمان قابل مشاهده‌اند. مسیر ظاهری سیارات^۱، منطقه البروج^۲ است که به پهنای ۱۶ درجه در امتداد دایره استوای سماوی است.

قدما، هفت سیاره و یا ستاره سرگردان^۳ را می‌شناختند؛ آنها عبارت بودند از ماه، عطارد (تیر)، زهره (ناهید)، مریخ (بهرام)، مشتری (برجیس)، زحل (کیوان) و خود خورشید. حالا ما می‌دانیم که خورشید یک ستاره است و ماه را بعنوان یک قمر^۴ زمین می‌شناسیم که خود زمین نیز یک سیاره واقعی است. سه سیاره اصلی دیگر کشف شده‌اند که عبارتند از اورانوس^۵، نپتون^۶ و پلوتو^۷ که به همراه پنج سیاره دیگر جمعاً ۸ سیاره می‌شوند. بعلاوه در حدود دوهزار سیاره کوچک و سیارک^۸ (آستروئید) نیز وجود دارد. در مفهوم اختر فیزیکی^۹ جدید، سیاره به یک جرم سماوی اطلاق می‌شود که درخشش آن از بازتاب نور خورشید و درجه حرارتش به مراتب کمتر از درجه حرارت خورشید باشد. سیارات اساساً با ستارگان دنباله دار^{۱۰} فرق دارند، بدین ترتیب که بسیار متراکم ترند و دارای هسته مرکزی گازی^{۱۱} شکل نیستند و دنباله^{۱۲} ندارند. فرق سیارات با شهاب سنگ ها^{۱۳} در بزرگی آنهاست که آنها را در خارج جو زمین قابل رؤیت ساخته است. سیارات مذکور به دو دسته تقسیم می‌شوند. سیارات زیرین^{۱۴} آنهایی اند که مدار حرکتشان به دور خورشید، در داخل مدار زمین قرار دارد و سیاره های زیرین^{۱۵} که مدار آنها خارج از مدار زمین واقع است. شکل (۴۷-۶). برای یک سیاره زیرین، چهار آرایش^{۱۶} قابل تمایز است: مقارنه زیرین^{۱۷}، وقتی که سیاره بین زمین و خورشید قرار گیرد؛ مقارنه زیرین^{۱۸}، وقتی که خورشید بین زمین و سیاره قرار گیرد؛ و وضعیت دورترین فاصله زاویه ای شرقی و غربی^{۱۹} که نمایانگر بزرگترین زاویه جدایی سیاره از خورشید است (زاویه بین خط واصل بین زمین و خورشید و زمین و سیاره). سیارات زیرین مانند ماه دارای فازهای مختلف‌اند؛ در مقارنه زیرین در حالت بدر، در وضعیت دورترین فاصله زاویه ای، نصف قرص آنها نمایان (مثل حالت تربیع ماه) است و در مقارنه زیرین،

- | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. The Apparent Pathway of Planets | 2. Zodiac | 3. Wandèring Star |
| 4. Satellite | 5. Uranus | 6. Neptune |
| 7. Pluto | 8. Asteroid | |
| 9. Astrophysical | 10. Comets | 11. Gaseous Coma |
| 12. Tail | | |
| 13. Meteorites | 14. Inferior Planets | 15. Superior Planets |
| 16. Configuration | 17. Inferior Conjunction | 18. Superior Conjunction |
| 19. Greatest East and West Elongation | | |



شکل (۴۷-۶) - آرایش سیارات. مقارنه زیرین و زبرین و وضعیت دورترین فاصله زاویه ای یک سیاره درونی (داخلی ترین دایره شکل) و مقارنه، مقابله و تربیع یک سیاره زبرین (بیرونی ترین دایره).

طرف تاریک آنها به طرف زمین است و دیده نمی شوند (مثل حالت ماه نو) برای یک سیاره زبرین چهار آرایش قابل تمایز است: مقارنه، وقتی که خورشید بین زمین و سیاره قرار دارد؛ مقابله، وقتی که زمین بین خورشید و سیاره قرار می گیرد و در نتیجه به سیاره نزدیکتر است، و تربیع شرقی و غربی^۱ که در هر کدام از این دو تربیع خط واصل بین سیاره و زمین بر خط واصل زمین و خورشید عمود است.

فاز یک سیاره زبرین در حالت های مقابله و مقارنه، کامل (مثل ماه در فاز بدر) و در حالت تربیع که کمترین مقدار از قرص سیاره پیداست به اندازه حالت تثلیث ماه است. حرکت سیارات نسبت به ستارگان گاهی بطرف مشرق (حرکت مستقیم^۲) و گاهی بطرف مغرب (حرکت معکوس^۳) است که اندازه حرکت آنها برای سیارات مختلف متغیر

است. این حرکتِ ظاهریِ شرقی و غربی، که مدتها موجب تفسیرهای مختلف بود، بعلت حرکت‌های دورانی زمین و سیارات به دور خورشید است که مجموعه دو حرکت، اینگونه حرکاتِ شرقی و غربی را موجب می‌شوند.

۵۹. صورتهای فلکی^۱

از اتصال ستارگان مشخصی که بسادگی قابل تمایزند، با خطوط فرضی به یکدیگر، اشکالی در سطح آسمان بوجود می‌آید که اصطلاحاً صور فلکی نامیده می‌شوند. صورتهای فلکی در مشخص کردن وضعیت اجرام سماوی، بکار گرفته می‌شوند. در بیشتر موارد، اجرام سماوی واقع در یک صورت فلکی، از نظر فیزیکی با یکدیگر ارتباطی ندارند و در فواصل متغیری نسبت به زمین قرار گرفته‌اند و شکل ظاهری آنها ناشی از میدان دید ناظر زمینی است. نام بسیاری از صورتهای فلکی، بخصوص آنهایی که در منطقه البروج و اطراف قطب شمال سماوی واقعند، توسط پیشینیان انتخاب شده است و آنها اسامی قهرمانان، حیوانات و سایر اشیاء مربوط به افسانه‌ها را به این صورتهای فلکی داده‌اند. سایر صورفلکی، یعنی صورفلکی جدید، دارای نام ابزار علمی^۲ اند. دسته‌های ستارگان واقع در صورتهای فلکی، در بین تمدنهای مختلف فرق دارند. مثلاً چینی‌ها، برای دسته‌های مختلف ستارگان اسامی دیگری را در مقایسه با آنچه که توسط مغرب‌زمینها صورت گرفته، انتخاب کرده‌اند. در طی قرون متمادی، حدودهای مورد نظر و تعداد صورتهای فلکی انتخاب شده، حتی در میان مردم غرب، تغییر یافته ولی شکل تعداد زیادی از آنها، مقدار کمی تغییر کرده است.

در یک مجموعه‌ای که در حدود سال ۱۵۰ میلادی، تهیه شده، اسامی ۴۸ صورت فلکی ذکر شده است.

در سنگنبشته‌ای از مصریان، که مربوط به حدود ۲،۰۰۰ سال قبل است، صور فلکی شناخته شده توسط آنها، حک گشته که در میان آنها تعدادی از صورفلکی امروزی قابل تشخیص است. این بدان معنی است که شکل‌های ایجاد شده توسط مجموعه زیادی از ستارگان در طی ۲۰ قرن به مقدار کمی تغییر کرده و مشخصه بعضی از صورفلکی از روزگار باستان باقی مانده است.

در نجوم جدید، ۸۸ صورت فلکی مشخص شده است. هر کدام از این صور دارای

حدود مشخص و نام اولیه‌ای است که در گذشته به آنها داده شده است. ۸۸ صورت فلکی موجود تمام کره سماوی را دربرمی‌گیرد.

۶۰. منطقه البروج^۱

منطقه البروج، کمربندی بر روی کره سماوی با پهنای 16° است که نمایانگر مسیر حرکات خورشید، ماه، و سیاره‌های عمده است. (سیاره پلوتو و تعداد زیادی از سیارکها در مسیر منطقه البروج قرار ندارند). وسط این کمربند، بموازات سطح دایره البروج قرار گرفته است. منطقه البروج دارای ۱۲ قسمت ۳۰ درجه‌ای است که هر کدام به نام برج^۲ مشخص شده است. شروع ۱۲ برج از نقطه اعتدال بهاری بطرف مشرق می‌باشد و اسامی آنها از اسامی صور فلکی که در حدود $2,000$ سال قبل در هر کدام از تقسیمات قرار داشته‌اند، بدست آمده است، شکل‌های (۶۴۸-۶) و (۶۴۹-۶).

اما در اثر حرکت تقدیمی، نقطه اعتدال بهاری از حدود دوهزار سال قبل به اینطرف، تقریباً 30° درجه بطرف مغرب حرکت کرده و در نتیجه، اسامی و صور فلکی واقع بر روی منطقه البروج در همان وضعیت دوهزار سال پیش نیست. بنابراین وقتی که خورشید در اول بهار (۲۱ مارس) وارد برج حمل^۳ می‌شود، در حقیقت این صورت فلکی حوت^۴ است که خورشید مقابل آن قرار می‌گیرد و تا یک ماه بعد از آن، وارد برج حمل نمی‌گردد. لغت خارجی منطقه البروج از کلمه‌ای یونانی^۵ به معنی دایره حیوانات^۶ گرفته شده است. منطقه البروج دارای ریشه باستانی است و نقشه‌های قدیمی حدود بسیاری از صور فلکی را به همین صورت امروزی نشان می‌دهند. ورود خورشید در برجهای دوازده‌گانه و تاریخ تقریبی آنها به شرح زیر است:

۱. برج حمل^۷، در بیست و یکم مارس.

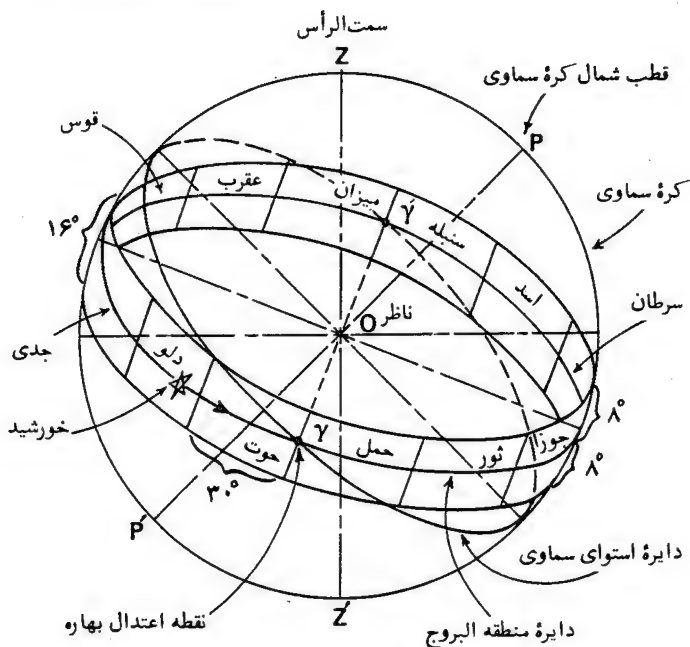
۲. برج ثور^۸، در بیستم آوریل.

۳. برج جوزا^۹، در بیست و یکم مه.

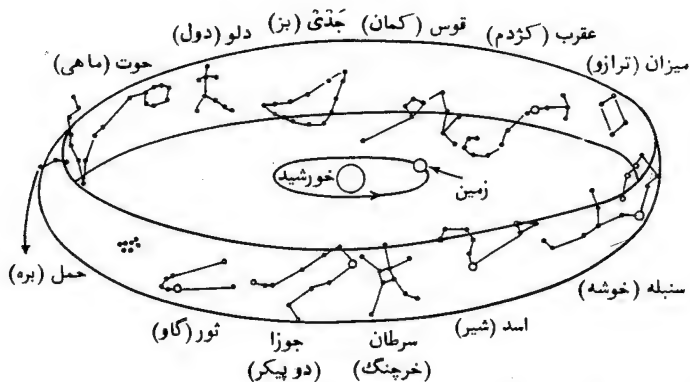
این سه برج مربوط به فصل بهار است.

۴. برج سرطان^{۱۰}، در بیست و یکم ژوئن.

- | | | | |
|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1. Zodiac | 2. Sign | 3. The Sign of Aries | 4. The Constellation Pisces |
| 5. Zodiakos | 6. Circle of Animals | 7. Ram (Aries) | 8. Bull (Taurus) |
| 9. Twins (Gemini) | 10. Crab (Cancer) | | |

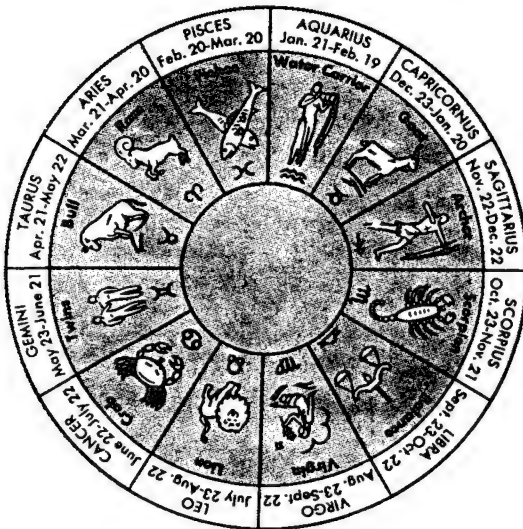


شکل (۶-۴۸) — منطقه البروج و دایره سماوی بر روی کره سماوی.



شکل (۶-۴۹) — صور منطقه البروج. در این شکل منطقه البروج بصورت نواری به دور خورشید و زمین نشان داده شده که در صفحه مدار زمین به دور خورشید، قرار گرفته است. بنحوی که از زمین دیده می‌شود، نوار منطقه البروج مسیر حرکت ماه، خورشید و سیارات، در حرکت‌های ظاهری آنهاست که نسبت به ستارگان ثابت در پهنه آسمان و بخصوص نسبت به صور نشان داده شده، قابل تشخیص‌اند. صور نشان داده شده در قسمت جلوی شکل، برای ناظری بیرون از نوار منطقه البروج، نموده شده است.

۵. برج اسد^۱، در بیست و سوم ژوئیه.
 ۶. برج سنبله^۲، در بیست و سوم اوت.
 - این سه برج مربوط به فصل تابستان است.
 ۷. برج میزان^۳، در بیست و سوم سپتامبر.
 ۸. برج عقرب^۴، در بیست و چهارم اکتبر.
 ۹. برج قوس^۵، در بیست و دوم نوامبر.
 - این سه برج مربوط به فصل پاییز است.
 ۱۰. برج جدی^۶، در بیست و دوم ماه دسامبر.
 ۱۱. برج دلو^۷، در بیستم ژانویه.
 ۱۲. برج حوت^۸، در نوزدهم فوریه.
 - این سه برج مربوط به فصل زمستان است.
- در شکل (۵۰-۶)، اشکال و علائم مربوط به صورتهای فلکی منطقه البروج و تاریخ تقریبی آنها با تقویم گرگوری، نشان داده شده است.



شکل (۵۰-۶) - اشکال و علائم صور منطقه البروج و تاریخ تقریبی آنها با تقویم گرگوری

1. Lion (Leo) 2. Virgin (Virgo) 3. Balance (Libra)
4. Scorpion (Scorpius) 5. Archer (Sagittarius) 6. Goat (Capricornus)
7. Water Bearer (Aquarius) 8. Fishes (Pisces)

۶۱. کهکشان^۱

کهکشان واحد اساسی دستگاه ستارگان است که جهان از مجموعه آنها تشکیل یافته است. یک مثال، کهکشان راه شیری است، که از ستارگان و مواد بین ستاره‌ای تشکیل شده که خورشید و سیاره‌های مربوط به آن جزئی از آنست. کهکشانشها به سه دسته عمومی طبقه‌بندی شده‌اند که عبارتند از: کهکشان مارپیچی^۲، کهکشان بیضوی شکل^۳ و کهکشان نامنظم^۴.

۶۲. کهکشان راه شیری^۵

در یک شب صاف و بدور از نور چراغهای شهر، یک نوار نورانی به شکل یک کمر بند نامنظم، بر سطح آسمان مشاهده می‌شود که عرض آن از ۵ درجه تا ۵۰ درجه تغییر می‌کند. این نوار نورانی که با نور ضعیف و غیر مداومی، دیده می‌شود، همان کهکشان راه شیری، راه کاهکشان و یا راه مکه است. رومیان قدیم آنرا با اسم راه شیری^۶ می‌نامیدند و در افسانه‌های اقوام اولیه، بسیار از آن یاد شده است. کهکشان راه شیری در شبهای مناطق حاره^۷ بهتر معلوم است. در رصدهای تلسکوپی، نوار راه شیری بصورت تعداد زیادی از ستارگان کم‌سو^۸، نمایان است. این رصدها، قسمت مرکزی کهکشان ما را نشان می‌دهند. پدیده راه شیری در آسمان، نتیجه وجود ستارگان بسیار زیاد در فواصل مختلف است که بعضی از آنها چند صد سال نوری از خورشید فاصله دارند و برخی دیگر ممکن است تا حدود —/۲۰،۰۰۰ سال نوری فاصله داشته باشند.

کهکشان راه شیری حاوی تقریباً ۱۰۰ بیلیون ستاره است که تعدادی از آنها ذاتاً از خورشید نورانی‌تر و پاره‌ای دیگر خیلی کم‌نورترند. خورشید نزدیک حد وسط مقیاس درخشندگی ذاتی^۹ قرار گرفته است.

راه شیری یک کهکشان از نوع مارپیچی تخت^{۱۰} با قطر تقریبی —/۱۰۰،۰۰۰ سال نوری است که ضخامت آن در ناحیه مرکزی در حدود —/۴،۰۰۰ سال نوری است. تمام کهکشانهای مارپیچی کاملاً تخت و عدسی‌مانند هستند که از مجموعه

1. Galaxy 2. Spiral Galaxy 3. Ellipsoidal (elliptical) Galaxy
4. Irregular Galaxy 5. Milky Way 6. The Via Lactea
7. Tropical 8. Faint Stars 9. The Scale Of Intrinsic Brightness
10. Flattened Spiral Galaxy

بسیار زیادی از ستارگان، متشکل شده‌اند. آنها دارای یک هسته مرکزی^۱ بی‌شکل^۲ (آمرف) اند که بازوهای مارپیچی^۳ از آنها به طرف خارج کهکشان بیرون زده است. خورشید ما در نزدیکی صفحه مرکزی^۴ کهکشان قرار گرفته و فاصله آن از مرکز کهکشان تقریباً $25,000$ - $30,000$ سال نوری است. تختی زیاد کهکشان ما، این نکته را آشکار می‌کند که تمام مجموعه آن می‌بایست با سرعت زیادی در حال دوران باشد و در حقیقت این مطلب از طریق مشاهدات نجومی اثبات شده است. منظومه شمسی و بسیاری از ستارگان نزدیک به آن با سرعتی در حدود 170 مایل در ثانیه، حول مرکز کهکشان در حرکت‌اند و یک دور کامل آنها حدوداً 250 میلیون سال، بطول می‌انجامد.

۶۳. عبور

در نجوم، گذر یک جرم سماوی، از قرص یک جرم سماوی دیگر، و یا از یک دایره عظیمه کره سماوی، عبور، نام دارد. اصطلاح عبور بیشتر در مورد گذر یک جرم سماوی از نصف النهار سماوی ناظر بکار برده می‌شود؛ بهنگام عبور یک جرم سماوی از نصف النهار سماوی یک ناظر، جرم سماوی، بیشترین ارتفاع را برای آن ناظر خواهد داشت. ستارگان دور قطبی دوبار از نصف النهار سماوی یک ناظر عبور می‌کنند؛ یکی از آنها در بالای قطب و دیگری در زیر قطب قرار گرفته‌اند، که به ترتیب به نام عبور یا گذر زیرین^۵ و عبور زبرین^۶ معروفند. بیشترین ارتفاع یک جرم سماوی در گذر یا عبور زبرین، حاصل می‌گردد. سیاره‌های زهره (ناهید) و عطارد (تیر) وقتی از میان قرص خورشید عبور می‌کنند که در مسیر حرکت خود به دور خورشید، بین زمین و خورشید قرار گرفته باشند؛ در چنین حالتی، بصورت یک نقطه تاریک^۸ بر روی قرص خورشید نمایان می‌شوند. مدار سیاره زهره در حدود 7 درجه و مدار سیاره عطارد $3/5$ درجه نسبت به سطح دایره البروج متمایل‌اند و به همین علت عبور این دو سیاره از میان قرص خورشید پدیده‌ای نادر است و لذا معمولاً از بالا و یا زیر قرص خورشید گذر می‌کنند. عبور سیاره عطارد در یک دوره 3 تا 13 ساله اتفاق می‌افتد.

- | | | |
|---------------------------|--------------|----------------------|
| 1. Central Nuclear Region | 2. Amorphous | 3. Spiral Arms |
| 4. Central Plane | 5. Transit | 6. Upper Culmination |
| 7. Lower Culmination | 8. Dark Spot | |

گذر قمر یک سیاره از قرص آن، عبور قمر^۱، نام دارد. در نقشه‌برداری، لغت انگلیسی عبور یعنی ترانزیت^۲ به یک وسیلهٔ تلسکوپی نیز اطلاق می‌گردد که برای اندازه‌گیری زوایای افقی و عمودی^۳ نسبت به یک خط تراز و همچنین اندازه‌گیری مسافت بکار می‌رود. دستگاه ترانزیت نجومی^۴ متشکل از یک ابزار تلسکوپی^۵ است که به منظور رصد عبور یک شیی نجومی از نصف النهار ناظر، اختصاص داده شده است.

۶۴. سکستانت^۶

سکستانت، یک ابزار دریانوردی^۷ است که در اندازه‌گیری زوایا، بخصوص ارتفاع اجرام سماوی، بکار می‌رود. در اوایل، این وسیله از کمانی ۶۰ درجه ($\frac{1}{6}$ محیط دایره) تشکیل شده بود که نام آن نیز از همینجا ناشی شده است، و بعلت بکار بردن اساس انعکاس دوگانه^۸، با چنین وسیله‌ای می‌توان زوایای تا ۱۲۰ درجه را اندازه‌گیری کرد. سکستانت را نیز می‌شود برای اندازه‌گیری زاویهٔ افقی بین دو نقطه، بکار برد. امروزه، نام سکستانت معمولاً به تمام ابزارهایی از این نوع، بدون توجه به میزان درجات قسمت کمانی آنها، اطلاق می‌گردد که پاره‌ای از آنها ندرتاً، دقیقاً ۶۰ درجه است. گاهی اصطلاحات اکتانت^۹، کاتانت^{۱۰} و کوادرانت^{۱۱} در مورد ابزار ۴۵، ۷۲ و ۹۰ درجه‌ای بکار می‌رود.

۶۵. تئودولیت^{۱۲}

تئودولیت وسیله‌ای در نقشه‌برداری است که برای اندازه‌گیری زوایای افقی و قائم بکار گرفته می‌شود و اساساً شبیه ابزار ترانزیت است. در تئودولیت درجات مربوط به اندازه‌گیری زوایا، بزرگ و تلسکوپ بکار رفته دارای بزرگنمایی بالایی است.

- | | | |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 1. Transit of Satellite | 2. Transit | 3. Horizontal and Vertical Angles |
| 4. Astronomical Transit | 5. Telescopic Instrument | 6. Sextant |
| 6. Sextant | 7. Navigation Instrument | 8. Double Reflecting Principal |
| 9. Octant | 10. Quintant | 11. Quadrant |
| | | 12. Theodolite |

۶۶. استرلاب^۱

استرلاب یک ابزار کوچک و قابل حملی است که توسط یونانیان اختراع شده است. استرلاب از صفحه‌ای دایره‌ای، تشکیل یافته که از یک نقطه محیط آن آویزان می‌شود. یک عقربه^۲ مجهز به آلت نشانه روی^۳ که می‌تواند حول مرکز صفحه دایره‌ای بعنوان محور، دوران کند، برای نشانه رفتن بسوی خورشید و یاستاره است. عقربه قابل تنظیم استرلاب، برای نشان دادن وقت روز، در لبه مدرج صفحه دایره‌ای بکار می‌رفته است. استرلاب در ایران بسیار کاربرد داشته و معمولاً نام آن یادآور نام ایران است چه، منجمین ایرانی، آن را در سطح وسیعی بکار گرفته‌اند. دریا نوردان، آن را تا سالهای ۱۷۰۰ بکار می‌بردند، زیرا، وسیله‌ای دقیق بوده و جهت تعیین عرض جغرافیایی، مورد استفاده قرار می‌گرفته است. همچنین این ابزار در تعیین جهت قبله کاربرد داشته است.

۶۷. تصحیحات نجومی^۴

در رصد هاییکه برای اندازه‌گیری ارتفاع اجرام سماوی، مانند خورشید و سایر ستارگان، صورت می‌گیرد، ارتفاع بدست آمده، ارتفاع ظاهری^۵ است و مقادیر مشخص شده را می‌بایست تصحیح کرد. در این مورد تصحیح‌های مورد لزوم به نام تصحیحات نجومی معروف هستند و به شرح زیر می‌باشند:

۱. تصحیح اختلاف منظر^۶.

۲. تصحیح شکست نور^۷.

۳. تصحیح شیب افق^۸.

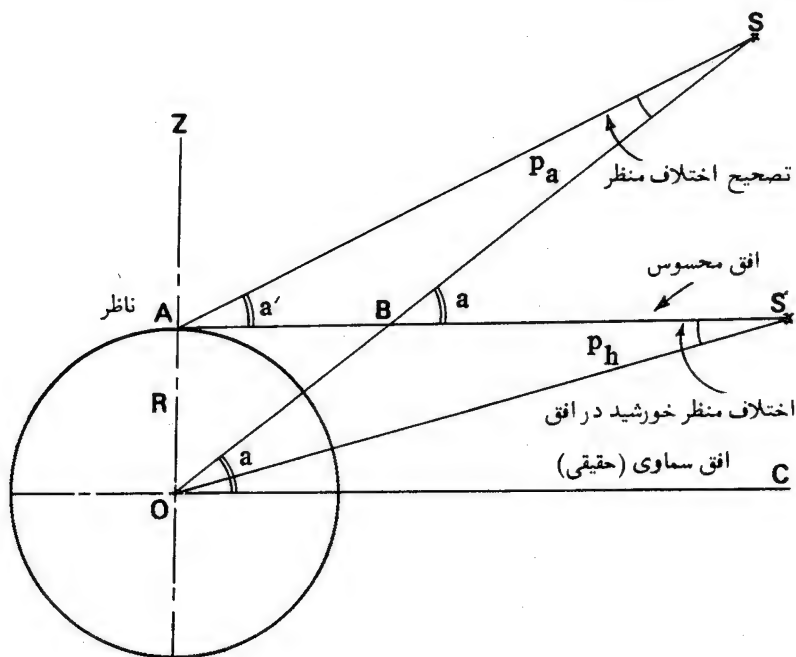
۴. تصحیح نیم قطر^۹.

۱. تصحیح اختلاف منظر: اختلاف منظر، اختلاف امتداد شعاع دید یک جرم سماوی از محل دید ناظر بر سطح زمین و از مرکز زمین است. در مورد ستارگان، موضوع اختلاف منظر مورد توجه نیست زیرا بعلمت بُعد مسافت، امتداد شعاع‌های دیده

- | | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1. Astrolabe | 2. Pointer | 3. Sight | 4. Astronomical Corrections |
| 5. Apparent Altitude | 6. Correction for Parallax | 7. Correction for Refraction | |
| 8. Correction for Dip of Horizon | 9. Correction for Semi-Diameter | | |

شده از سطح زمین و از مرکز زمین عملاً موازی اند. اما در مورد بعضی از اجرام سماوی، مانند خورشید و ماه که فاصله آنها از زمین، در مقایسه با ستارگان، بسیار نیست، امتداد شعاعهای دیده شده از سطح و مرکز زمین موازی نیستند. بنابراین تصحیح اختلاف منظر، فقط در مورد خورشید، ماه و سایر اشیاء نزدیک بکار می رود. چنانکه از نقاط مختلفی بر روی زمین به خورشید و ماه نگاه کنیم، وضعیت آنها بر روی کره سماوی، بعلاوه نزدیکی نسبی شان به زمین، یکسان نخواهد بود. به همین علت مقادیر میل و بُعد آنها، در جداول نجومی، می بایست نسبت به یک نقطه مبنای مشخصی، ثبت شود که بتواند مورد استفاده همگان قرار گیرد. این نقطه مبنای مرکز زمین است، بدین ترتیب با داشتن میل و بُعد جرم سماوی نسبت به مرکز زمین، می توان با وارد ساختن تصحیح اختلاف منظر، میل و بُعد آن را نسبت به هر مکان دیگر بر روی سطح زمین محاسبه کرد.

در شکل (۵۱-۶)، اختلاف منظر خورشید نمایانده شده است. در این شکل حروف و علامات به شرح زیرند:



شکل (۵۱-۶) — اختلافی منظر خورشید.

O = مرکز زمین.

A = محل ناظر و یا محل رصد.

S = محل خورشید به هنگام رصد.

S' = محل خورشید بر افق محسوس.

OC = افق سماوی یا افق حقیقی^۱.

AB = افق محسوس^۲.

$\angle SAB = \alpha$ = ارتفاع مشاهده شده و یا ارتفاع ظاهری.

$\angle SOC = a$ = ارتفاع واقعی^۳.

$\angle ASB = p_a$ = تصحیح اختلاف منظر.

$\angle ASO = p_h$ = اختلاف منظر خورشید در افق^۴.

وقتی که خورشید بر صفحه افق محسوس قرار می گیرد، ارتفاع مشاهده شده و یا ارتفاع ظاهری^۵ آن صفر است و زاویه p_h که زاویه دید شعاع زمین (OA) از نقطه S است، اختلاف منظر خورشید در افق، نامیده می شود.
با توجه به شکل، واضح است که خواهیم داشت:

$$\sin p_h = \frac{R}{OS'}$$

بنابراین مقدار اختلاف منظر خورشید در افق با فاصله خورشید از مرکز زمین نسبت معکوس دارد. مقدار آن از $۸''/۹۵$ در اوایل ژانویه تا $۸''/۶۶$ در اوایل ژوئیه تغییر می کند، و در جداول نجومی، مقادیر اختلاف منظر خورشید در افق، ده روز به روز در تمام طول سال داده شده است. مقدار متوسط اختلاف منظر خورشید در افق $۸''/۸$ است.
حال با توجه به شکل خواهیم داشت:

$$a = \angle SOC = \angle SBS' = \text{ارتفاع حقیقی}$$

$$= \angle SAB = \angle ASB$$

$$= a' + p_a$$

1. Celestial (True) Horizon

2. Sensible Horizon

3. True Altitude

4. Sun's Horizontal Parallax

5. Apparent Altitude

و یا

$$(۶-۲۳) \quad \text{تصحیح اختلاف منظر} + \text{ارتفاع ظاهری} = \text{ارتفاع حقیقی}$$

بنابراین

$$p_a = (a - a') = \text{تصحیح اختلاف منظر}$$

در مثلث AOS خواهیم داشت

$$\frac{\sin \hat{ASO}}{\sin \hat{OAS}} = \frac{OA}{OS}$$

$$\sin \hat{ASO} = \sin \hat{OAS} \times \frac{OA}{OS}$$

و یا

$$\sin p_a = \sin(90^\circ + a') \times \frac{OA}{OS}$$

اما

$$\sin p_a = \cos a' \times \frac{OA}{OS}$$

پس

$$\frac{OA}{OS} = \frac{OA}{OS'} = \sin p_h$$

$$\sin p_a = \sin p_h \cos a' \quad (۶-۲۴)$$

از آنجاییکه زوایای p_a و p_h ، زوایای بسیار کوچکی هستند، در نتیجه

$$p_a = p_h \cos a'$$

یعنی

(ارتفاع ظاهری) $\times \cos$ اختلاف منظر در افق = تصحیح اختلاف منظر

$$(۶-۲۵) \quad \text{تصحیح اختلاف منظر} = \lambda'' / \lambda \cos a'$$

وقتی که خورشید در سطح افق قرار می‌گیرد ($a' = 0$)، اندازه تصحیح اختلاف

منظر بیشترین مقدار و هرچه خورشید به سمت الرأس نزدیک‌تر شود، میزان تصحیح

اختلاف منظر کاهش می‌یابد.

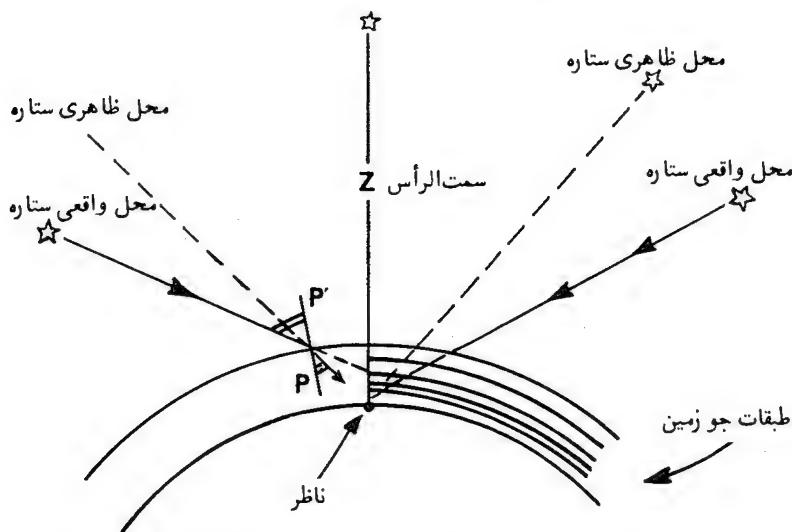
۲. تصحیح شکست نوز: اشعه نوری که از یک ستاره می‌آید، قبل از رسیدن

به چشم ناظر، می‌بایست از جو کره زمین عبور کند. در نتیجه، تشعشع مورد نظر در جو،

شکست پیدا می‌کند. وزن مخصوص جو در طبقه پایینی آن 0.001 گرم در متر مکعب

است و لذا اشعه آمده از فضای تقریباً خلا بین ستاره ای، در آن شکست یافته و یا خم می شود. نحوه خم شدن امتداد اشعه، بصورتی است که اشعه بطرف امتداد عمود بر سطح طبقات جو نزدیکتر می شود، امتداد PP' در شکل (۶-۵۲). عمل شکست نور در جو زمین همانند شکست آن در یک عدسی و یا یک منشور است. برخلاف حالت یک عدسی، اتمسفر دارای طبقات مختلفی است که وزن مخصوص آنها با نزدیکتر شدن به سطح زمین افزایش می یابد. در نتیجه با عبور نور از طبقات اتمسفر، میزان شکست آن بیشتر و بیشتر شده و اندازه خم شدگی امتداد آن افزایش می یابد. این مطلب در طرف راست شکل (۶-۵۲) نمایانده شده است. تمام اجرام سماوی بجز آنهایی که در سمت الرأس اند و نور آنها عمود بر اتمسفر می آید، در آسمان، در محلی بالاتر از محل واقعی خود بنظر می رسند. بنابراین ارتفاع مشاهده شده و یا ارتفاع ظاهری ستارگان و سایر اجرام سماوی را می بایست برای شکست نور در اتمسفر تصحیح کرد.

زاویه بین امتداد اشعه یک ستاره، بهنگام ورود به اتمسفر و امتداد اشعه آن به هنگام رسیدن به سطح زمین زاویه تصحیح شکست نور، نام دارد. تصحیح برای



شکل (۶-۵۲) — شکست نور در اتمسفر زمین. نحوه خم شدن امتداد اشعه یک ستاره در جو زمین بصورتی است که محل ستاره بالاتر از محل واقعی آن به چشم ناظر می رسد. امتداد PP' ، امتداد خط عمود بر سطح اتمسفر است و دیده می شود که زاویه تابش بزرگتر از زاویه شکست است.

شکست نور می‌بایست همیشه از ارتفاع ظاهری کسر گردد. میزان تصحیح شکست نور بستگی به عوامل زیر دارد:

وزن مخصوص هوا،

درجه حرارت هوا،

فشار جو و

ارتفاع.

میزان تصحیح شکست نور برای تمام اجرام سماوی، یکسان می‌باشد و تابع فاصله آنها نیست. اندازه تصحیح شکست نور از صفر دقیقه برای ستاره واقع در سمت الرأس تا ۳۵ دقیقه (بیشتر از نیم درجه) برای ستاره واقع در افق، تغییر می‌کند. ستاره‌ای که ۵ درجه در بالای افق است، تصحیح شکست نور آن تقریباً ۱۰ دقیقه است. در اجرام سماوی که در نزدیک سطح افق قرار دارند، بعلت عبور اشعه آنها از ضخامت بیشتری از جو زمین، تصحیح شکست نور زیادتر است. در حقیقت خورشید که دارای قطر زاویه‌ای در حدود ۳۰ دقیقه و یا نیم درجه است، در طلوع و غروب، باندازه قطر آن بالاتر دیده می‌شود و لذا طول روز، در مقایسه با حالتی که زمین اتمسفری نداشته باشد، چند دقیقه‌ای بیشتر است.

در فشار ۲۹/۶ اینچ جیوه و درجه حرارت ۵۰ درجه فارنهایت، اندازه تصحیح شکست نور را می‌توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$(۶-۲۶) \quad \text{تصحیح شکست نور برحسب ثانیه قوسی} = 58'' \cot a = 58'' \tan z$$

که در آن a ارتفاع ظاهری جرم سماوی و z فاصله سمت الرأس مشاهده شده است.

میزان تصحیح شکست نور در شرایط فوق را به نام شکست نور متوسط می‌نامند. برای شرایط دیگر، می‌بایست فرمولهای دیگری را بکار گرفت. این فرمول را در حالتی که ارتفاع یک جرم سماوی کمتر از ۲۰ درجه است، نباید بکار برد، چه، اندازه تصحیح خیلی زیاد می‌شود. میزان تصحیح شکست نور در ارتفاعهای کم نامعین است و لذا رصدهای نجومی برای تعیین دقیق پارامترها، نمی‌بایست در ارتفاعهای کم اجرام سماوی، در حالیکه نزدیک افق اند، صورت پذیرد.

مقادیر تصحیح شکست نور برای ارتفاعهای مختلف برحسب فشار اتمسفریک، درجه حرارت هوای بیرونی و درجه حرارت متصل به فشارسنج، در جداول ریاضی چمبر داده شده است.

شکست نور در جو زمین اثری در اندازه سمت اجرام سماوی ندارد. وجود طبقات اتمسفر با وزن مخصوصهای متفاوت و همچنین حرکت افقی و قائم این طبقات، موجب ایجاد شکست نور بصورت متغیر می گردد که این پدیده خود باعث چشمک زدن نور ستارگان می شود. شکست نور متغیر^۱ برای یک رصد خوب و مناسب، مطلوب نیست و یک رصد مناسب در غیاب شکست نور متغیر صورت می پذیرد.

۳. تصحیح شیب افق: زاویه بین افق محسوس و افق مرئی، شیب افق نامیده می شود.

از آنجایی که صفحه افق محسوس بموازات صفحه افق حقیقی است، لذا شیب افق به زاویه بین افق حقیقی و افق مرئی نیز اطلاق می شود. زمانی که رصد در سطح دریا توسط سکستانت صورت می پذیرد، ارتفاع ستاره و یا خورشید نسبت به افق مرئی دریا اندازه گیری می شود. بعلت کروی بودن زمین، افق مرئی، در زیر افق حقیقی قرار می گیرد. لذا زاویه شیب افق می بایست از ارتفاع مشاهده شده، کسر گردد.

در شکل (۵۳-۶):

A = محل ناظر.

h = AB = ارتفاع ناظر نسبت به سطح دریا.

S = وضعیت ستاره و یا خورشید.

AD = افق مرئی.

AC = افق محسوس.

OH = افق حقیقی.

$\angle SAD = \alpha$ = ارتفاع ظاهری و یا ارتفاع مشاهده شده ستاره و یا خورشید.

$\angle SAC = a$ = ارتفاع حقیقی ستاره و یا خورشید.

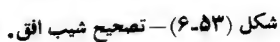
$\angle CAD = \beta$ = زاویه شیب افق، و

R = شعاع زمین، می باشند.

برساده گی می توان نوشت،

$$BO = R \quad ; \quad AO = (R + h)$$

$$\tan \beta = \frac{AD}{OD} = \frac{\sqrt{(R+h)^2 - R^2}}{R}$$



$$\tan \beta = \sqrt{\frac{h(rR + h)}{R^2}}$$

(6-27)

و یا به طور تقریبی

(۶-۲۸)

$$\tan \beta = \sqrt{\frac{2h}{R}}$$

اگر β کوچک باشد، ممکن است نوشت،

$$\tan \beta = \beta \text{ (برحسب رادیان)} = \sqrt{\frac{2h}{R}}$$

اما،

$$\text{یک رادیان} = ۳۴۳۸'$$

و

$$R = ۲,۰۹۰,۰۰۰ \text{ فوت}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{2h}{۲,۰۹۰,۰۰۰}} \times ۳۴۳۸' \text{ (برحسب دقیقه)}$$

$$= ۱/۰۶۴ \sqrt{h}$$

و یا تقریباً

$$\beta \approx \sqrt{h} \text{ (برحسب دقیقه)}$$

(۶-۲۹)

که h ارتفاع برحسب فوت است.

بنابراین شیب افق برحسب دقیقه، تقریباً برابر جذر ارتفاع ناظر برحسب فوت است. تصحیح مربوط به شیب افق، می‌بایست همیشه از ارتفاع مشاهده شده و یا ارتفاع ظاهری کسر گردد.

۴. تصحیح نیم قطر: نیم قطر خورشید و یا یک ستاره، عبارت از نصف زاویه ای است که تحت آن می‌توان خورشید و یا ستاره را از مرکز زمین، مشاهده کرد.

از آنجایی که قرص خورشید بزرگ است، لذا رصد مرکز آن مستقیماً، نمی‌تواند بطور دقیق صورت پذیرد و معمولاً خط روی عدسی دستگاه^۲ (خط چلیپا) برکنار تصویر خورشید، مماس می‌گردد. وقتی که خط افقی عدسی، بر لبه پایینی قرص خورشید مماس است، اصطلاحاً گفته می‌شود که رصد در لبه پایینی^۳ قرص خورشید صورت گرفته است، شکل (۵۴-۶) — الف. به همین صورت وقتی که خط افقی عدسی بر لبه بالایی خورشید

محاسن گردد، گفته می‌شود که رصد، در لبه بالایی 'قرص خورشید صورت گرفته است، (شکل ۶-۵۴) - ب. شکل‌های (۶-۵۴) - ج و (۶-۵۴) - د، نمایانگر رصد خورشید در لبه طرف راست (شرقی) ^۲ و لبه طرف چپ (غربی) ^۳ آن هستند.

تصحیح نیم‌قطر، در صورتی که رصد برای دو لبه مقابل خورشید صورت بگیرد و معدل آن گرفته شود، دیگر لازم نیست.

در شکل (۶-۵۵)، OA شعاع نورانی مربوط به لبه پایینی قرص خورشید و a_1 ارتفاع مشاهده شده مربوط به آنست. اما ارتفاع صحیح خورشید مربوط به مرکز قرص آن یعنی a است که a_1 کوچکتر از a است. به همین ترتیب OB شعاع نوزانی مربوط به لبه بالایی قرص خورشید و a_2 ارتفاع مشاهده شده مربوط به آنست که از a بزرگتر است. اگر نیم‌قطر خورشید، مطابق شکل، برابر $\frac{y}{2}$ باشد، خواهیم داشت:

$$a = a_1 + \frac{y}{2} = a_2 - \frac{y}{2} \quad (6-30)$$

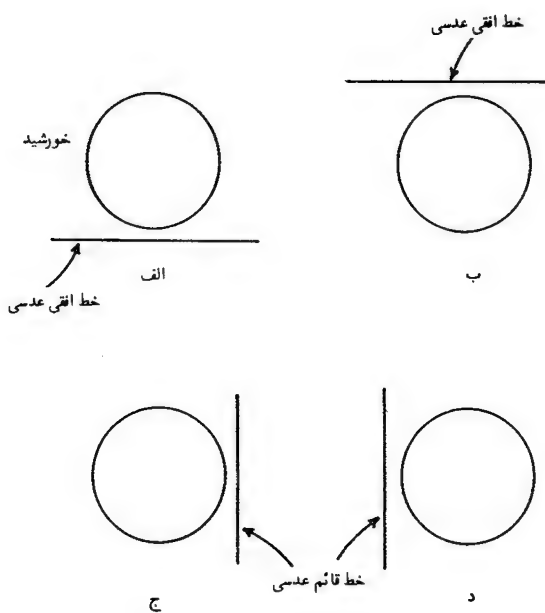
اگر فاصله مرکز زمین از مرکز خورشید، برابر D، یعنی (OC = D)، و شعاع قرص خورشید (AC = r) باشد، خواهیم داشت:

$$\sin \frac{y}{2} = \frac{r}{D} \quad (6-31)$$

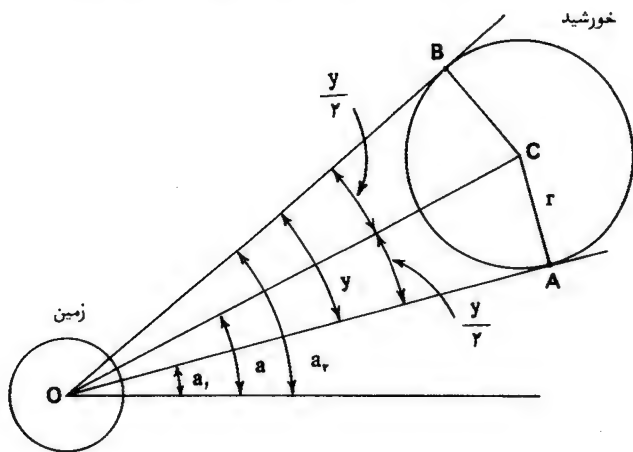
بر حسب رادیان $\frac{y}{2} = \frac{r}{D}$

مسلم است که مقدار این تصحیح، بستگی به وضعیت زمین بر روی مدار آن دارد. از آنجایی که فاصله زمین از خورشید در تمام طول سال یکسان نیست، لذا نیم‌قطر از ۱۵ دقیقه و ۴۶ ثانیه در ماه ژوئیه تا ۱۶ دقیقه و ۱۸ ثانیه در ماه ژانویه تغییر می‌کند و مقدار آن در متوسط فاصله زمین از خورشید، ۱۶ دقیقه و ۱۸/۱۸ ثانیه است. در جداول نجومی، مقادیر تصحیح نیم‌قطر برای خورشید در روزهای مختلف سال داده شده است. بنابراین اگر در موقع اندازه‌گیری ارتفاع خورشید، لبه پایینی آن در نظر گرفته شود، تصحیح نیم‌قطر، به آن اضافه و در صورتی که لبه بالایی خورشید در نظر گرفته شود، تصحیح نیم‌قطر از آن کم می‌گردد.

در اندازه‌گیری زوایای افقی، در صورتی که لبه شرقی و یا لبه غربی قرص خورشید در نظر گرفته شود، تصحیح نیم‌قطر، برابر زاویه‌ای خواهد بود که نیم‌قطر خورشید در



شکل (۶-۵۴) - چگونگی مشاهده خورشید نسبت به خطهای قائم و افقی عدسی دستگاه.



شکل (۶-۵۵) - تصحیح نیم قطر.

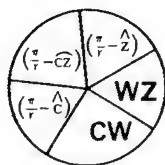
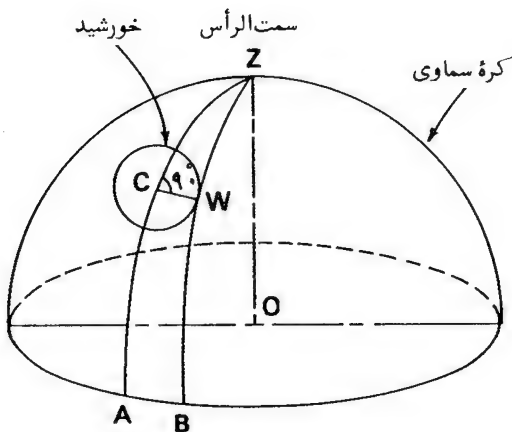
سمت الرأس، تحت آن قرار می گیرد. مقدار تصحیح نیم قطر، چنانکه خواهد آمد، برابر با

حاصلضرب کمان نیم‌قطر خورشید و سکانت ارتفاع مرکز خورشید است.

در شکل (۶-۵۶)، مرکز قرص مدور خورشید و Z سمت‌الرأس است. دایره ارتفاع (عمودی) نقطه C و دایره ارتفاع لبه غربی قرص خورشید در شکل رسم شده است. در نتیجه، تصحیح مربوط به نیم‌قطر، زاویه‌ای است که تحت آن قطر CW از نقطه Z (سمت‌الرأس) دیده می‌شود، یعنی زاویه \widehat{WZC} . مقدار این تصحیح، از حل روابط مثلث کروی قائم‌الزاویه ZCW، با بکار بردن قاعدهٔ نپر، محاسبه می‌شود، لذا خواهیم داشت:

$$\sin \widehat{CW} = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \widehat{CZ}\right) \cos\left(\frac{\pi}{2} - Z\right)$$

$$= \sin CZ \sin Z$$



شکل (۶-۵۶) — تصحیح نیم قطر در سمت خورشید.

اما اندازه‌های کمان CW و زاویه Z، مقادیر کوچکی هستند و می‌توان نوشت:

$$\widehat{CW} = (\sin \widehat{CZ}) \times Z$$

$$Z = \frac{\widehat{CW}}{\sin \widehat{CZ}} = \widehat{CW} \times \operatorname{cosec} \widehat{CZ}$$

$$= \widehat{CW} \times \sec a \quad (۶-۳۲)$$

که در آن a ارتفاع مرکز خورشید است. دیده می‌شود که این فرمول، همان مطلب قبلی است که در ابتدای امر به آن اشاره شد.

۶۸. خورشید نیمه شب^۱

در عرض جغرافیایی منطقه معتدله شمالی، خورشید همیشه در طول روز دیده می‌شود و مابقی بیست و چهار ساعت شبانه روز، از دیده پنهان است. اما در منطقه منجمده شمالی، در شمال مدار شمالگان (مدار $۶۶/۵۵$ درجه شمالی) و در منطقه منجمده جنوبی، در جنوب مدار جنوبگان (مدار $۶۶/۵۵$ درجه جنوبی) طلوع و غروب خورشید به گونه دیگری است؛ بدین ترتیب که در طول روز بلندمدت قطبی، خورشید در بیست و چهار ساعت، یک شبانه روز بطور مداوم در پهنه آسمان است، و اصطلاح خورشید نیمه شب نیز به همین مطلب اطلاق می‌شود. از آنجایی که مسیر حرکت سالانه ظاهری خورشید به دور زمین بر روی کره سماوی (دایرة البروج) نسبت به سطح استوای سماوی متمایل است، لذا فاصله زاویه ای خورشید از قطب شمال سماوی (متمم میل)، در طول سال، متغیر است. در نقطه انقلاب زمستانی، فاصله زاویه ای خورشید از قطب شمال سماوی بیشترین مقدار و برابر $۱۱۳/۴۵$ ، در نقاط اعتدالین برابر ۹۰° و در انقلاب تابستانی کمترین مقدار و برابر $۶۶/۵۵$ است. چنانکه متمم میل یک جرم سماوی، کمتر از عرض جغرافیایی ناظری باشد، آن جرم سماوی غروب نمی‌کند و بین نقطه قطب شمال سماوی و افق ناظر، در حال حرکت خواهد بود؛ چنین ستاره ای برای آن ناظر، ستاره دور قطبی^۲ نامیده می‌شود. بنابراین در یک نقطه، با عرض جغرافیایی مشخص، مادامی که متمم میل خورشید کمتر از عرض جغرافیایی است، خورشید غروب نداشته و در بالای افق باقی خواهد ماند. برای محلی بر روی دایرة شمالگان ($\varphi =$

۵۵/۶۶)، خورشید نیمه‌شب، فقط یک‌شب در سال و در نقطه انقلاب تابستانی وجود خواهد داشت؛ در دایره جنوبگان، این مطلب در نقطه انقلاب زمستانی واقع می‌شود. در نقطه شمال زمین، خورشید ۶ ماه از سال در پهنه آسمان و ۶ ماه دیگر زیر افق است. در عرض جغرافیایی ۷۰ درجه شمالی خورشید بمدت دو ماه، و در عرض جغرافیایی ۷۸ درجه شمالی، بمدت ۴ ماه، غروب ندارد.

بعلت شکست نور خورشید در جو زمین، خورشید ممکن است در زمانی کاملاً زیر افق باشد، اما به چشم ناظر، در بالای افق بنظر برسد. با توجه به این مطلب و همچنین اندازه ظاهری قرص خورشید در آسمان، طول مدتهای داده شده در فوق، اندکی تغییر می‌یابد. تمام خورشید و یا قسمتی از قرص آن، در عرضهای جغرافیایی ۷۰ درجه، ۷۸ درجه و ۹۰ درجه شمالی به ترتیب به مدت ۷۳ روز، ۱۲۸ روز و ۱۹۲ روز در بالای افق قرار دارد. دیده می‌شود که مدتها، اندکی بیشتر از مدتهای داده شده قبلی است. مدتهای مشابه، برای عرضهای مشابه جنوبی، قابل مقایسه با آنها هستند اما دقیقاً برابر نمی‌باشند، چه، سرعت مداری زمین به دور خورشید در نزدیکی حضیض، در حوالی چهارم، ژانویه، بیشتر از نقطه اوج آنست. این بدان معنی است که مدت بودن خورشید در جنوب دایره استواء، کمتر از مدت بودن آن در شمال دایره استواءست. لذا برای عرضهای جغرافیایی مشابه در نیمکره‌های شمالی و جنوبی، طول مدت زمان خورشید نیمه شب در نیمکره شمالی، بیشتر از نیمکره جنوبی است. مطلب خورشید نیمه شب در فصل پنجم کتاب نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

زمان

در فصول قبلی در بسیاری از موارد، با اصطلاحاتی مانند وقت شمسی حقیقی (ظاهری)، وقت شمسی متوسط، تعدیل زمان (معادله زمان) و غیره... برخورد شد. همچنین رابطه (۱-۳) در فصل اول برای تبدیل وقت استاندارد به وقت شمسی حقیقی، داده شد. در این فصل، موضوع زمان و وقت مورد بررسی قرار می‌گیرد تا در فهم آنچه که قبلاً داده شده است، مؤثر باشد.

۱. زمان

طول مدت سپری شده بین دو لحظه و یا دو رویداد، به زمان، موسوم است. ابزاری مانند انواع ساعت و کروномتر (زمان‌سنج) برای اندازه‌گیری طول مدت زمان سپری شده بین دو رویداد در دو لحظه وقوع آنهاست.

۲. اندازه‌گیری و تعیین زمان

در شرح یک واقعه، می‌بایست مبداء زمانی اتفاق آن، و مدتی که واقعه، بطول انجامیده معین گردد. بنابراین ثبت زمان، شامل دو پدیده است، یکی مبداء زمانی^۱ رویداد که لحظه شروع آن را معلوم می‌کند و دیگری فاصله^۲، که نمایانگر فاصله زمانی بین شروع و خاتمه رویداد است. در کارهای روزانه، عملیات دریانوردی^۳، عملیات زمین پیمایی^۴ و تعقیب قمرهای مصنوعی^۵، مبداء زمانی مطرح می‌شود در حالیکه

در فیزیک فقط فاصله زمانی مطرح است.

۳. مقیاسهای زمان^۱

در علم اندازه‌گیری زمان، به مقیاسهای زمان نیاز پیدا می‌شود تا بتوان بوسیله آنها رویدادها و فاصله‌های زمانی^۲ را سنجید. هر رویداد فیزیکی قابل تکرار را می‌توان برای اندازه‌گیری گذشت زمان بکار گرفت. البته باید این اطمینان وجود داشته باشد که تکرار رویداد، در فواصل زمانی کاملاً مساوی صورت می‌پذیرد. زمان تکرار یک رویداد فیزیکی را دوره^۳، نامند. بنابراین رویدادی را که دارای دوره ثابت باشد، می‌توان برای اندازه‌گیری زمان بکار برد. پدیده‌هایی که کم و بیش دارای این خاصیت هستند، عبارتند از ضربان نبض^۴ و یا هر ضربان تناوبی، حرکت دورانی زمین حول محورش، نوسان پاندول و ارتعاش الکترونها در اتم. وقتی که یک اتم و یا مولکول از یک حالت انرژی بالا^۵ به یک حالت انرژی کمتر می‌رسد، تشعشع الکترومغناطیسی^۶ ایجاد می‌گردد. در حقیقت هر کدام از این پدیده‌ها، در سنجش زمان بکار گرفته شده است. مقیاسهای مختلف برای منظوره‌های گوناگون، بکار می‌روند. زمانی که بر مبنای حرکت دورانی زمین حول محورش، استوار است، زمان دورانی^۷ نامیده می‌شود. وقت تقویمی یا وقت جدول نجومی^۸، بوسیله حرکت گردشی زمین به دور خورشید تعریف شده و زمانی است که در مکانیک سماوی^۹ بکار می‌رود. زمان اتمی^۱ از کارکرد ساعت اتمی، بدست آمده است.

قبلاً زمان دورانی و یا وقت شمسی متوسط^{۱۱}، هم برای ثبت مبداء زمانی، و هم برای اندازه‌گیری واحد فاصله زمانی، یعنی ثانیه، بکار گرفته می‌شد. اما بعداً روشن شد که سرعت دورانی زمین بر حسب وقت تقویمی و زمان اتمی، متغیر است. در نتیجه، در سال ۱۹۵۶، ثانیه شمسی متوسط^{۱۲} جای خود را به ثانیه تقویمی^{۱۳} داد. ثانیه تقویمی نیز در سال ۱۹۶۷ توسط ثانیه اتمی^{۱۴} جایگزین گردید.

روش اندازه‌گیری زمان که فعلاً بکار می‌رود، برای مبداء زمانی بر مبنای وقت

1. Time Scales 2. Time Intervals 3. Period 4. Pulse Beat
5. Higher Energy State 6. Electromagnetic Radiation
7. Rotational Time 8. Ephemeris Time 9. Celestial Mechanics
10. Atomic Time 11. Mean Solar Time 12. Mean Solar second
13. Ephemeris second 14. Atomic second

شمسی متوسط و برای فاصله زمانی بر مبنای زمان اتمی است. در ادامه مطلب مقیاسهای مختلف زمانی مورد بررسی قرار می گیرد.

۴. وقتِ نجومی^۱

در سنجش زمان، زمانهای دورانی مختلفی بکار گرفته می شود. زمان دورانی که در نجوم مورد عمل قرار می گیرد، وقتِ نجومی است.

چنانکه همگان می دانند، زمین حول محور خود دارای حرکتی دورانی است. ممکن است حرکت دورانی زمین، یک حرکت کاملاً منظم فرض شود. مدتها، این فرض کاملاً صحیح انگاشته می شد و سرعت حرکت دورانی زمین را کاملاً ثابت می گرفتند. اما سرعت حرکت دورانی زمین مطلقاً ثابت نیست. در تعریف وقتِ نجومی، حرکت دورانی زمین، کاملاً منظم فرض شده و سرعت آن مطلقاً ثابت گرفته می شود.

در اثر حرکت دورانی زمین حول محورش، چنین بنظر می رسد که ستارگان، یک دور کامل را حول قطب سماوی، در یک مدت زمان ثابت، نسبت به طول مدت حرکت دورانی زمین، طی می کنند و خود زمین بصورت ثابت بنظر می رسد. حرکت دورانی ستارگان حول قطب سماوی، به نام حرکت دورانی ظاهری^۲ نامیده می شود. اطلاق کلمه ظاهری بدان سبب است که در حقیقت، زمین ثابت نیست و در اثر حرکت دورانی که دارد، ستارگان ظاهراً به دور قطب سماوی می گردند.

از آنجایی که حرکت دورانی زمین به دور محورش منظم و با سرعتی ثابت فرض شده، لذا حرکت دورانی و ظاهری ستارگان به دور قطب سماوی نیز منظم و با سرعتی ثابت فرض می شود. این حرکت یکنواخت ستارگان وسیله خوبی برای اندازه گیری زمان است.

دوره یک دور کامل ستارگان، حول قطب سماوی، به نام روز نجومی^۳ معروف است. ریشه لغت انگلیسی روز نجومی، از یک لغت لاتینی^۴ به معنای ستاره گرفته شده است. روز نجومی، در حقیقت طول مدتی است که زمین یک دور کامل حول محورش می گردد. عملاً حرکت دورانی هیچ ستاره ای حول قطب سماوی، بعنوان تعیین روز نجومی، در نظر گرفته نمی شود. ستاره مبنای یک ستاره فرضی^۵، یعنی نقطه اعتدال بهاری

1. Sidereal Time

2. Apparent Revolution

3. Sidereal Day

4. Sidus

5. Star

6. Hypothetical Star

و وقت نجومی نسبت به ستاره فرضی واقع در این نقطه، در نظر گرفته می‌شود. بنابراین روز نجومی را بعنوان فاصله زمانی بین دو عبور پیاپی نقطه اعتدال بهاری از همان نصف النهار، نیز تعریف می‌کنند. یک روز نجومی به ۲۴ قسمت برابر به نام ساعت نجومی^۱ تقسیم شده و هر ساعت نجومی ۶۰ دقیقه نجومی^۲ و هر دقیقه نجومی ۶۰ ثانیه نجومی^۳ است. در یک محل، یک ساعت نجومی^۴ بدین ترتیب میزان می‌شود: باید بهنگام عبور نصف النهار محل از نقطه اعتدال بهاری، ساعت نجومی صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه را نشان دهد و بعد از گذشت ۲۴ ساعت نجومی، بوقت عبور مجدد نصف النهار محل از نقطه اعتدال بهاری، ساعت دوباره صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه را نشان دهد.

از آنجایی که زمین در ۲۴ ساعت نجومی، نسبت به یک ستاره ثابت، ۳۶۰ درجه به دور خود می‌چرخد، نتیجه می‌شود که اختلاف ۱۵ درجه طول جغرافیایی برابر یک ساعت نجومی و هر ۱۵ دقیقه قوسی، برابر یک دقیقه نجومی و هر ۱۵ ثانیه قوسی مساوی یک ثانیه نجومی است. اگر دو محل، بر روی یک نصف النهار واقع باشند، ساعت‌های نجومی قرار گرفته در آنها، در هر لحظه، وقتی یکسان را نشان خواهند داد. اما اگر محلی مانند نقطه A بر روی یک نصف النهار و محلی دیگر مانند نقطه B، ۱۵ درجه در مغرب نصف النهار محل A باشد، ساعت‌های نجومی قرار گرفته در نقاط A و B یک ساعت نجومی اختلاف وقت نشان خواهند داد. یعنی مثلاً اگر ساعت نجومی قرار گرفته در A، ساعت ۱۰ نجومی را نشان دهد، ساعت نجومی واقع در B، در مغرب A، ساعت ۹ نجومی را نشان خواهد داد. اگر نقطه B، ۱۵ درجه در مشرق نصف النهار بود، ساعت نجومی واقع در آن ساعت ۱۱ نجومی را نشان می‌داد. برای دو نقطه که بر روی یک دایره عظیمه‌ای که از دو قطب می‌گذرد و در دو طرف قطب قرار گرفته باشند، ساعت نجومی آنها ۱۲ ساعت اختلاف، نشان خواهد داد.

دیدیم که بر حسب تعریف، روز نجومی عبارت از یک گردش کامل زمین به دور محورش نسبت به یک ستاره ثابت است. مشاهده شده است، چنانکه نقطه مبنا بجای یک ستاره ثابت، نقطه اعتدال بهاری باشد، طول روز نجومی نسبت به حالت یک ستاره ثابت فرق دارد. اگر وضعیت نقطه اعتدال بهاری نسبت به ستارگان ثابت، خود ثابت می‌بود، قطعاً طول روز نجومی در هر دو حالت یکی می‌شد. اما چنانکه در فصل ششم

1. Sidereal Hour

2. Sidereal Minutes

3. Sidereal second

4. Sidereal Clock

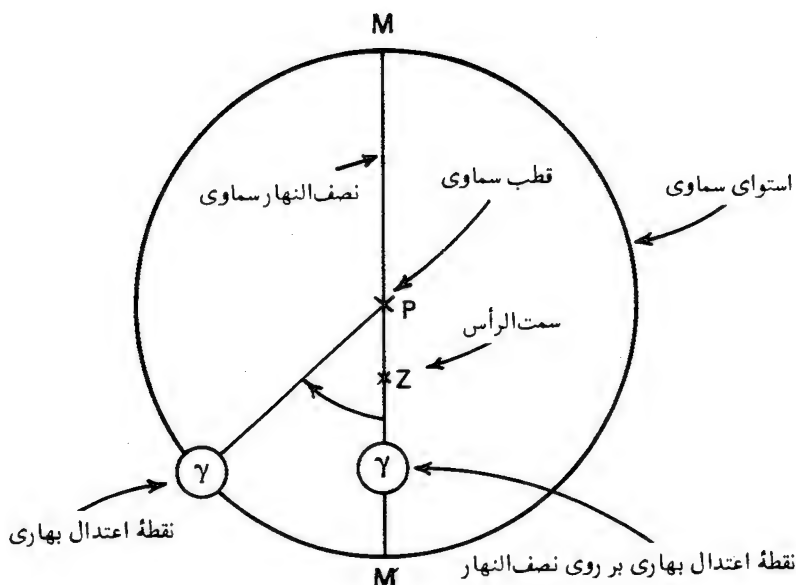
توضیح داده شده، نقطه اعتدال بهاری خود دارای حرکت تقدیمی است و نقطه ثابتی نمی باشد. حرکت نقطه اعتدال بهاری یک حرکت آرام و متغیر بطرف مغرب است. طول مدت یک دور زمین نسبت به نقطه اعتدال بهاری در حدود $0/01$ ثانیه از طول مدت یک دور کامل آن (نسبت به یک ستاره ثابت) کمتر است.

روز نجومی، از واحدهای اصلی زمان در نجوم است و در اینجا فقط به منظور بهتر فهمیدن سایر واحدهای زمان، توضیح داده شده است.

۵. وقت نجومی محلی

توضیح داده شد، زمانی که نقطه اعتدال بهاری بر روی نصف النهار سماوی محلی قرار می گیرد، ساعت نجومی قرار گرفته در آن، صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه نجومی را نشان خواهد داد. لحظه عبور نصف النهار سماوی از نقطه اعتدال بهاری را اصطلاحاً ظهر نجومی^۲ نامند. در سایر اوقات، وقت نجومی محلی یک نقطه، برحسب زمان نجومی گذشته از لحظه عبور نصف النهار سماوی آن از نقطه اعتدال بهاری، بیان می گردد.

در شکل (۷-۱)، کره سماوی بنحوی که از طرف قطب سماوی دیده می شود، نشان داده شده است. نقطه P ، قطب سماوی و Z سمت الرأس و خط $MPZM'$ نصف النهار سماوی نقطه ای مانند A است. در حالت اول نقطه اعتدال بهاری بر روی نصف النهار مکان قرار گرفته که در آن لحظه ساعت نجومی، صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه نجومی را نشان خواهد داد. وقتی که در اثر حرکت دورانی زمین، نقطه اعتدال بهاری باندازه کمان $M'Y$ به سمت مغرب تغییر مکان می دهد، ساعت نجومی محل A از تبدیل قوس $M'Y$ (برحسب درجه) به ساعت نجومی، از قرار هر 15 درجه برابر یک ساعت نجومی، بدست خواهد آمد. بنابراین اگر دو محل، مانند A و B بر روی دو نصف النهار مختلف قرار بگیرند و وقت نجومی یکی از آنها مثلاً محل A معلوم باشد، از روی اختلاف طول جغرافیایی آنها می توان وقت نجومی محل B را معین کرد. در اینصورت اختلاف طول جغرافیایی را به زمان نجومی تبدیل و از وقت محل A کم و یا به آن اضافه می کنیم، اگر محل B در مغرب محل A باشد زمان نجومی بدست آمده (معادل اختلاف طولهای جغرافیایی) از وقت نجومی محل A کسر و چنانکه محل B در



شکل (۷-۱) — عبور نصف النهار سماوی بیک نقطه از نقطه اعتدال بهاری.

مشرق محل A باشد، به آن اضافه می‌گردد. برای مثال: وقتی که نقطه اعتدال بهاری بر روی نصف النهار گرینیچ در انگلستان قرار می‌گیرد، دیگر، بر روی نصف النهار شهر واشنگتن دی سی^۱ (غربی 77°) قرار نخواهد داشت. نقطه اعتدال بهاری، زمانی بر روی نصف النهار واشنگتن قرار خواهد گرفت که زمین، باندازه 77° درجه و یا معادل $5/13$ ساعت دوران کند. وقتی که نقطه اعتدال بهاری از نصف النهار سماوی واشنگتن عبور می‌کند، ساعت نجومی قرار گرفته در گرینیچ، وقت ۵ ساعت و ۷ دقیقه و ۴۸ ثانیه نجومی را نشان خواهد داد، در حالیکه ساعت نجومی قرار گرفته در واشنگتن دی سی، صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه نجومی را معلوم خواهد کرد. چون طول جغرافیایی گرینیچ صفر درجه است، نتیجه می‌شود که طول جغرافیایی هر محلی بر روی زمین، برابر اختلاف وقت نجومی گرینیچ و آن محل است. این در حقیقت همان روش تعیین طول جغرافیایی مذکور در فصل اول در بخش (۱-۵) است.

با راه ساده‌ای می‌توان وقت نجومی را به بعد و زاویه ساعتی ارتباط داد. چنانکه

تعاریف بُعد (R.A.)^۱، زاویه ساعتی (H.A.)^۲ و وقت نجومی محلی^۳ (L.S.T.) را در نظر بگیریم، رابطه بین آنها بسادگی معلوم می‌گردد.

بُعد یک ستاره عبارت از کمّانی از استوای سماوی است که بین دو دایره عظیمه، یکی دایره اعتدال^۴ و دیگری دایره ساعتی^۵ (دایره میل^۶) قرار گرفته و از نقطه اعتدال بهاری بجهت مشرق اندازه‌گیری می‌شود. در شکل (۷-۲)، کمان γS ، بُعد ستاره S است. همچنین این کمان برحسب زمان، عبارت از طول مدتی (برحسب ساعت، دقیقه ثانیه نجومی) است که توسط ستاره S طی می‌شود تا بعد از عبور نقطه اعتدال بهاری از نصف النهار سماوی محل، از همان نصف النهار عبور کند. در نتیجه وقت نجومی محلی برابر با بُعد نصف النهار سماوی آنست.

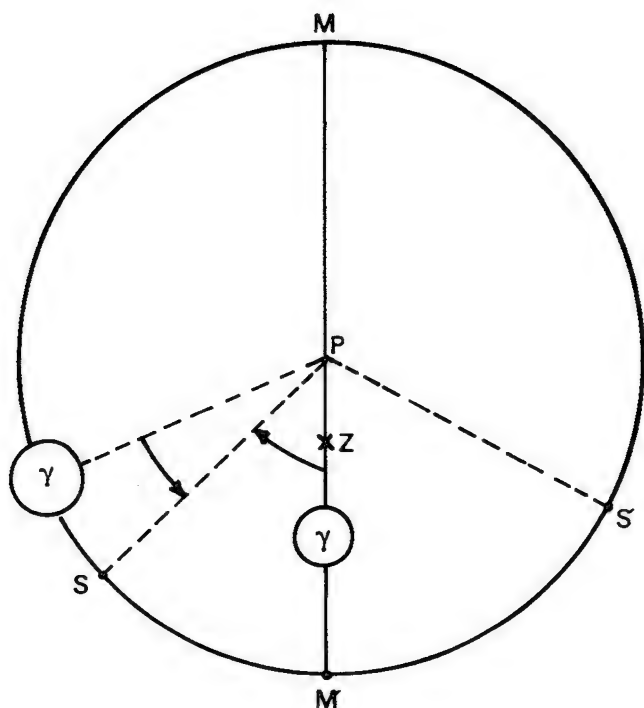
زاویه ساعتی یک ستاره، کمّانی از استوای سماوی است که بین نصف النهار سماوی و دایره ساعتی (میل) عبورکننده از ستاره قرار می‌گیرد و چنانکه از بالای قطب سماوی نگاه شود، به جهت مغرب اندازه‌گیری می‌شود. وقتی که بطرف مغرب اندازه‌گیری شود علامت آن مثبت و بجانب مشرق منفی است. در شکل (۷-۲)، که به همان صورت شکل (۷-۱) در نظر گرفته شده، کمان $M'S$ زاویه ساعتی ستاره S است. این کمان برحسب زمان برابر مدت زمانی است که از عبور ستاره از نصف النهار سماوی مکان سپری شده است (در صورتیکه ستاره در مغرب نصف النهار قرار داشته باشد، ستاره S) و یا با طول مدتی که ستاره، برای رسیدن به نصف النهار لازم دارد، برابر است (در صورتیکه ستاره در مشرق نصف النهار قرار داشته باشد، ستاره S). بنابراین وقت نجومی برابر با زاویه ساعتی نقطه اعتدال بهاری از صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه تا ۲۴ ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه، اندازه‌گیری شده بطرف مغرب است. حال با توجه به شکل (۷-۲) می‌توان نوشت:

$$\gamma M' = \gamma S + SM'$$

و یا
همچنین برای ستاره S در مشرق نصف النهار سماوی،

$$\gamma M' = \gamma S' - M'S'$$

- | | | |
|-----------------------|----------------|-----------------------|
| 1. Right Ascension | 2. Hour Angle | 3. Local Sideral Time |
| 4. Equinoctial Colure | 5. Hour Circle | 6. Declination Circle |



شکل (۷-۲) — رابطه بین وقت نجومی محلی، بُعد و زاویه ساعتی.

و یا

زاویه ساعتی ستاره — بُعد ستاره = وقت نجومی محلی

و به طور کلی خواهیم داشت،

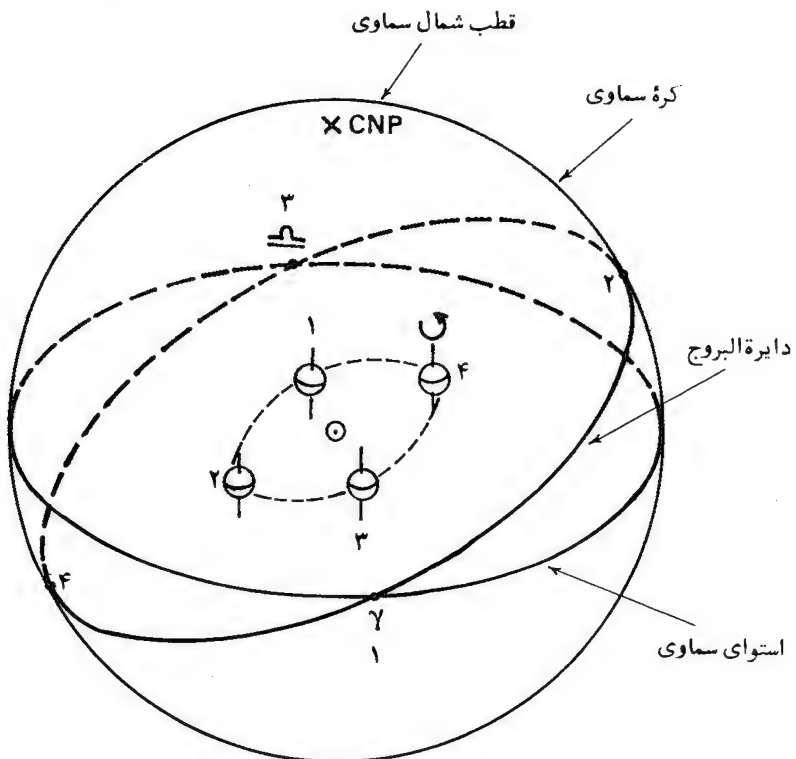
$$L.S.T. = R.A. \pm H.A. \left(\frac{W}{E} \right) \quad (۷-۱)$$

اگر R.A. کمتر از H.A. باشد ۲۴ ساعت به آن اضافه می شود. وقتی که ستاره در مغرب نصف النهار سماوی باشد علامت H.A. مثبت و زمانی که در مشرق آن باشد، علامتش منفی است.

۶. وقت شمسی ظاهری (حقیقی)

نوع دیگری از زمان دورانی، وقتِ شمسی ظاهری (حقیقی) است. گرچه روش اندازه‌گیری زمان توسط ساعت نجومی، روش مناسبی است، اما مناسب منظوره‌های عادی زندگی نیست. عادات و قواعد ما بر مبنای خورشید استوار است نه بر مبنای ستارگان. بعلاوه به دلایل عملی، زمان نجومی در زندگی روزمره کاربرد ندارد. بعنوان مثال، یک روز کاری را در ساعت ۶ روز نجومی شروع می‌کنیم:

در شکل (۷-۳) در اول پاییز زمین در وضعیت (۳) است و خورشید بر روی



شکل (۷-۳) — نشان دادن اینکه وقت نجومی، زمان مناسبی برای زندگی روزمره نمی‌باشد. در وضعیت (۳) در ساعت شش نجومی، خورشید در حال طلوع و نقطه اعتدال بهاری (۷) در حال غروب است، اما در وضعیت (۳) هم خورشید و هم نقطه اعتدال بهاری در حال غروب‌اند.

استوای سماوی ۱۸۰ درجه یا ۱۲ ساعت از نقطه اعتدال بهاری (۷) فاصله دارد. در ساعت ۶ نجومی، زاویه ساعتی نقطه اعتدال بهاری، ۶ ساعت (۹۰ درجه) است و در نتیجه، نقطه اعتدال بهاری در حال غروب (حرکت دورانی زمین از مغرب به مشرق) است و خورشید که ۱۲ ساعت از نقطه اعتدال بهاری فاصله دارد، در حال طلوع می باشد و لذا شروع روز، مطابق معمول، در صبح خواهد بود. اما ۶ ماه بعد، زمین در اول بهار در وضعیت ۱ است و در ساعت ۶ نجومی، هم خورشید و هم نقطه اعتدال بهاری در حال غروب اند. لذا در صورتی که قرار بر این بوده باشد که روز همیشه در همان ساعت ۶ نجومی آغاز شود، در این حالت شروع روز در غروب آفتاب خواهد بود. دیده می شود که شروع روز، زمانی در صبح و زمانی دیگر در غروب، مناسب نیست. به همین علت وقتی که توسط خورشید سنجیده شود، بهتر از سنجش توسط ستارگان، با زندگی روزمره مناسبت دارد.

وقتی که مبنای اندازه گیری زمان، خورشید باشد، آن را وقت شمسی ظاهری (حقیقی) نامند. زندگی روزمره ما توسط وقت شمسی ظاهری تنظیم می شود و وقت نجومی، در این مورد کاربرد ندارد.

زمانی که مرکز قرص خورشید بر روی نصف النهار سماوی محلی قرار می گیرد، اصطلاحاً ظهر ظاهری محلی^۱ است و در سایر اوقات روز، وقت، توسط زاویه ساعتی خورشید معلوم می شود. روز شمسی ظاهری^۲ فاصله دو عبور پیاپی مرکز قرص خورشید از نصف النهار سماوی مکان است. وقتی که مرکز قرص خورشید بر روی نصف النهار محلی قرار می گیرد، ساعت شمسی ظاهری^۳، یعنی ساعت خورشیدی^۴، ساعت ۱۲ را نشان خواهد داد و این لحظه، ظهر ظاهری محل است. ساعت خورشیدی، یکی از قدیمی ترین ابزار سنجش وقت است و وقت شمسی ظاهری را در محل، مشخص می کند. متأسفانه، روز شمسی ظاهری، دارای طول زمانی ثابتی نیست و متغیر است. ساختن ساعتی مکانیکی همانند ساعتهای مکانیکی متداول که در لحظه عبور دقیق خورشید از نصف النهار محل، درست ساعت ۱۲ ظهر را نشان دهد و یا بتواند وقت شمسی ظاهری را تعیین کند، غیرممکن است. بعداً دلیل تغییر طول مدت روز شمسی ظاهری، خواهد آمد. ابتدا طول مدت یک روز شمسی ظاهری را با یک روز نجومی مقایسه می کنیم.

1. Local Apparent Noon

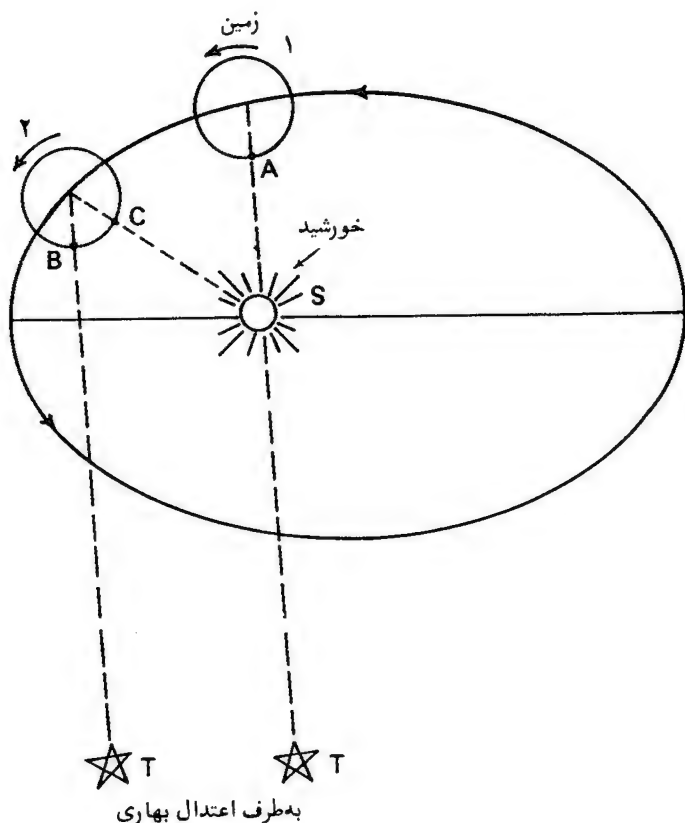
2. Apparent Solar Day

3. Apparent Solar Clock

4. Sundial

طول مدت یک روز شمسی ظاهری، از طول مدت یک روز نجومی بلندتر است. دلیل این مطلب با توجه به شکل (۷-۴) مشخص می‌شود. در این شکل، مسیر بیضی شکل حرکت انتقالی زمین به دور خورشید نشان داده شده که خورشید در نقطه S — یکی از کانونهای بیضی — نمایانده شده است.

ملاحظه کنید که خورشید برای ناظر A در وضعیت شماره ۱ زمین، درست در بالای سر او قرار دارد. همچنین فرض کنید که بر روی امتداد خط AS، ستاره‌ای ثابت مانند T نیز درست در بالای سر ناظر قرار داشته باشد. می‌دانیم که زمین دارای دو حرکت است، یکی به دور محورش و دیگری به دور خورشید در امتداد مدار بیضی شکل.



شکل (۷-۴) — مقایسه طول روز شمسی ظاهری و روز نجومی.

و وقتی که زمین به وضعیت ۲ می‌رسد، ناظر A در اثر حرکت دورانی زمین به وضعیت B خواهد رسید و این در حالی است که ستاره T بعثت بعد مسافت، کماکان در بالای سر او خواهد بود؛ عبارت دیگر بعثت بعد مسافت ستاره T، امتداد BT بموازات امتداد AT است. این لحظه، پایان روز نجومی است که طبق تعریف، فاصله بین دو عبور پیاپی ستاره ثابت (فرض براینست که ستاره ثابت در محل نقطه اعتدال بهاری باشد) از نصف النهار محل است. اما برای پایان یافتن روز شمسی ظاهری، ناظر می‌بایست مدتی صبر کند تا در اثر حرکت‌های زمین، طول کمان BC پیموده شود و خورشید مجدداً به بالای سر او برسد. در نتیجه، روز شمسی ظاهری باندازه مدت زمان لازم برای پیمودن کمان BC، در اثر حرکت‌های زمین، بلندتر است. یعنی برای تعیین روز شمسی ظاهری می‌بایست باندازه مدت لازم در پیمودن کمان BC، بطول روز نجومی اضافه شود.

چنانکه طول روز نجومی را ثابت بگیریم، در صورتیکه طول مدت لازم برای پیمودن کمان BC توسط زمین نیز ثابت باشد، طول روز شمسی ظاهری ثابت خواهد بود. اما طول مدت لازم برای پیمودن کمان BC، در اثر حرکت‌های زمین ثابت نیست. می‌دانیم که مدار حرکت انتقالی زمین به دور خورشید یک بیضی با خروج از مرکز بزرگتر از صفر است که این مطلب نتیجه قانون گرانش^۲ (قوانین کپلر^۳) است. چنانکه یک شیء بر مداری بیضی شکل در حرکت باشد، سرعت حرکتش در طول یک دوره حرکت آن یکنواخت نخواهد بود. وقتی که فاصله زمین از خورشید کمترین است، یعنی در زمان حضيض، سرعت حرکت آن بیشتر از وقتی است که فاصله زمین از خورشید بیشترین (نقطه اوج) است. بدین ترتیب، وقتی که زمین در نزدیکی حضيض است، بعد خورشید در امتداد استوای سماوی در اثر حرکت آن به سمت مشرق، تقریباً ۱ درجه و ۶/۶ دقیقه در روز تغییر می‌کند، در حالی که در نزدیکی نقطه اوج، حرکت ظاهری آن به سمت مشرق تقریباً یک درجه و ۵/۲ دقیقه در روز است. مقدار اختلاف ۴/۱ دقیقه قوسی، بر حسب زمان برابر ۱۶ ثانیه است. به همین سبب طول روز شمسی ظاهری، باندازه ۱۶ ثانیه در ماه ژانویه (زمان حضيض) و ژوئیه (زمان اوج) تغییر می‌کند. در نتیجه، زمان لازم برای پیمودن کمان BC که باید به روز نجومی اضافه شود تا روز شمسی ظاهری بدست آید، یکسان نیست. این نخستین دلیل یکنواخت نبودن روزهای شمسی ظاهری است. دلیل دیگر غیر یکنواختی روزهای شمسی ظاهری، تمایل ۲۳/۴۵ درجه‌ای

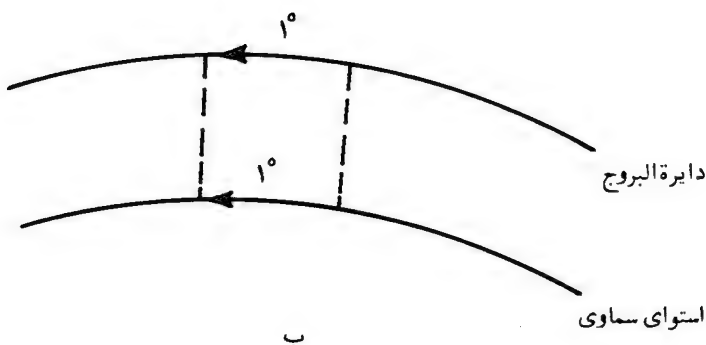
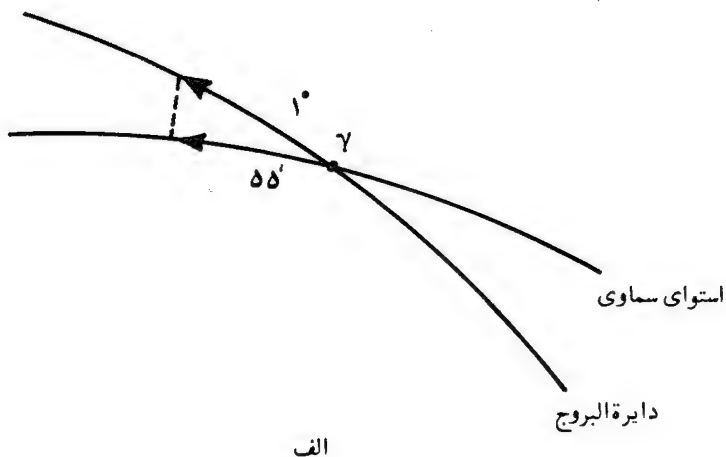
صفحه استوای زمین، نسبت به صفحه مدار حرکت زمین بدور خورشید یعنی تمایل دایرة البروج^۱ است. حتی اگر مدار حرکت انتقالی زمین به دور خورشید دایره ای شکل بود، یعنی اینکه سرعت حرکت ظاهری خورشید در امتداد دایرة البروج بطرف مشرق یکسان می بود، باز هم زمان بین دو عبور پیاپی خورشید از نصف النهار، یکسان نمی شد، زیرا افزایش زمان^۲ در امتداد استوای سماوی در نظر گرفته می شود، در حالی که تغییر وضعیت خورشید، بر روی دایرة البروج سنجیده می شود. تصور کنید که خورشید با حرکتی یکنواخت بر روی دایرة البروج با اندازه یک درجه در روز بطرف مشرق حرکت کند. در روز اول بهار، خورشید در نقطه اعتدال بهاری (وضعیت ۱ در شکل (۷-۳)) خواهد بود. روز بعد با اندازه یک درجه، در امتداد دایرة البروج به نقطه ای بالاتر از دایرة استوای سماوی می رسد و زمین باید علاوه بر دور ۳۶۰ درجه ای، معادل فاصله زاویه ای یک درجه ای بر روی دایرة البروج را، بر روی استوای سماوی طی کند. تصویر این فاصله بر روی دایرة استوای سماوی، همان یک درجه نیست و بلکه $9/0$ درجه و یا ۵۵ دقیقه است. این مطلب در فصل چهارم در مثال (۶-۴)، محاسبه شده است. لذا روز شمسی ظاهری در فاصله روز اول تا دوم بهار معادل دور ۳۶۰ درجه ای زمین بعلاوه دور مداری ۵۵ دقیقه ای آنست، شکل (۷-۵) الف.

سه ماه بعد در نقطه انقلاب تابستانی - وضعیت ۲ در شکل (۷-۳) - حرکت یک درجه ای روزانه خورشید بر مسیر دایرة البروج، برابر همان یک درجه بر روی دایرة استوای سماوی است، شکل (۷-۵) ب.

در نتیجه، یک روز شمسی ظاهری معادل یک دور ۳۶۰ درجه ای زمین بعلاوه یک دور مداری ۶۰ دقیقه ای آنست. بنابراین تفاوت بین روزهای شمسی ظاهری در فاصله روز اول تا دوم بهار و اول تا دوم تابستان، حدود ۵ دقیقه قوسی ($5 = 55 - 60$) و یا بطور تقریب ۲۰ ثانیه است.

۷. وقت ظاهری محلی^۳

چنانکه وقت، وسیله وقت شمسی ظاهری سنجیده شود؛ عبارت دیگر زاویه ساعتی خورشید در سنجش زمان مورد عمل باشد، در صورتی دو نقطه دارای وقت یکسان خواهند بود که هر دو بر روی یک نصف النهار قرار بگیرند و یکی مستقیماً در



شکل (۷-۵) — حرکت ظاهری خورشید بر روی دایرة البروج بطرف مشرق، و تصویر آن بر دایرة استوای سماوی. قسمت (الف) مربوط به فاصله روز اول تا دوم بهار و قسمت (ب) مربوط به فاصله روز اول تا دوم تابستان است. در هر دو مورد فرض شده است که خورشید، یک درجه را بر روی دایرة البروج در یک روز طی کند. تصویر میزان مسیر طی شده بر روی دایرة استوای سماوی، در حدود ۵۵' در فاصله روز اول تا دوم بهار و برابر همان یک درجه در فاصله روز اول تا دوم تابستان است. این مطلب موجب نابرابری روزهای شمسی ظاهری است.

شمال دیگری قرار داشته باشد. بدین ترتیب وقت، محلی می باشد و فقط برای نصف النهار

معینی است و از آنجایی که این وقت براساس حرکت ظاهری خورشید است، آن را وقت ظاهری محلی (L. A. T.) می نامند. قبلاً هم توضیح داده شده که ظهر ظاهری محلی، لحظه ای است که مرکز قرص خورشید از نصف النهار محل، عبور می کند و این در حقیقت همان ظهر شرعی است.

وقت ظاهری محلی، همان وقتی است که توسط ساعت خورشیدی^۲، معین می شود که تا حدود یک قرن پیش تقریباً در سطح دنیا برای سنجش وقت بکار می رفت. اما ساعت خورشیدی، بعلاوه دو نقیصه مهم، توسط انواع دیگر وسایل سنجش وقت، جایگزین گردید. یکی از دو نقیصه که قبلاً هم بحث شد، اینست که روزهایی که توسط خورشید سنجش می شوند، از نظر طول مدت روز متغیر است.

نقیصه دیگر وقت ظاهری محلی، مناسب نبودن این نوع از سنجش وقت است که تا این اندازه به محل، بستگی دارد. وقت دو محل را فقط وقتی می توان سنجید که اختلاف طول جغرافیایی آنها معین باشد. دو شهر که بر روی یک نصف النهار قرار دارند و یا بعبارت دیگر فقط از نظر شمالی و جنوبی از هم فاصله دارند، دارای وقت یکسانند، اما در صورتیکه دو شهر از جهت شرقی-غربی از هم فاصله داشته باشند، دارای وقت ظاهری محلی متفاوتی خواهند بود. برای توضیح اینکه وقت ظاهری محلی تا چه حد به محل بسته است، به ذکر چند مثال می پردازیم. در بخش (۲-۵) در فصل اول، چگونگی تعیین فاصله شرقی-غربی دو محل، با اختلاف طول جغرافیایی معین، توضیح داده شد. با توجه به آنچه که قبلاً داده شده، هر ۱۵۲۰ فوت در امتداد مشرق-مغرب، بر روی دایره استوا، برابر اختلاف یک ثانیه در وقت است. در سایر عرضهای جغرافیایی، برای بدست آوردن فاصله معادل یک ثانیه، می بایست عدد ۱۵۲۰ در کسینوس عرض جغرافیایی محل ضرب شود. مثلاً در عرض جغرافیایی ۳۵°، کسینوس ۳۵ درجه برابر ۰/۸۱۹۲ است و حاصل ضرب آن در ۱۵۲۰ می شود ۱۲۴۵ فوت. بنابراین در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه، هر ۱۲۴۵ فوت در امتداد مشرق-مغرب برابر یک ثانیه اختلاف در وقت است. با استفاده از همین روش، جدول (۱-۷) تنظیم شده است. در این جدول، طول شرقی-غربی معادل یک ثانیه زمانی در عرضهای جغرافیایی مختلف داده شده است.

جدول (۷-۱) طول شرقی-غربی معادل یک ثانیه اختلاف وقت، در عرضهای جغرافیایی مختلف :

عرض جغرافیایی	۱۵°	۲۰°	۲۵°	۳۰°	۳۵°	۴۰°	۴۵°	۵۰°	۵۵°
فاصله شرقی-غربی برحسب فوت	۱۴۶۸	۱۴۲۸	۱۳۷۸	۱۳۱۶	۱۲۴۵	۱۱۶۴	۱۰۷۵	۹۷۷	۸۷۲

فرض کنید که یک زمین فوتبال در امتداد مشرق-مغرب قرار گرفته باشد، حال می‌خواهیم بدانیم که اختلاف وقت ظاهری محلی بین دو سرزمین چقدر است. در یک زمین فوتبال واقع در امتداد مشرق-مغرب، با طول ۳۰۰ فوت، و در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه، اختلاف وقت در دوسر یک ضلع شرقی-غربی آن برابر ۰/۲۴۱ ثانیه و یا در حدود یک چهارم ثانیه است. دیده می‌شود که در چنین فاصله کوتاهی، اختلاف وقت ظاهری محلی قابل ملاحظه است و در فواصل بیشتر، میزان اختلاف بیشتر می‌شود. چنانکه فاصله شرقی-غربی دو شهر در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه برابر یکصد مایل باشد، میزان اختلاف وقت ظاهری محلی برابر ۷/۰۷ دقیقه می‌شود. اختلاف وقت دو شهر در فاصله شرقی-غربی ۱۴/۱۵ مایل، برابر یک دقیقه است.

۸. وقت متوسط^۱

تا بحال دریافته‌ایم که چرا طول روزهای شمسی ظاهری^۲ متغیر است. دو دلیل تغییر طول روزهای شمسی ظاهری یکی دایره‌ای نبودن مدار حرکت انتقالی زمین است که دیده شد تقریباً بیضی شکل می‌باشد و دیگری تمایل دایره استوای زمین نسبت به سطح مدار حرکت انتقالی آنست. بطور کلی، روز شمسی ظاهری در ماه دسامبر به ۲۴ ساعت و ۳۰ ثانیه و در ماه سپتامبر به ۲۳ ساعت و ۵۹ دقیقه و ۳۹ ثانیه می‌رسد. مقادیر جزئی اختلاف روزانه روزهای شمسی ظاهری در طول یکسال جمع شده و به حدود نیم ساعت می‌رسد، که در موارد علمی قابل قبول نیست و حتی در زندگی روزمره

امروزی هم نمی تواند قابل قبول باشد.

به منظور اینکه واحد زمانی غیرمتغیری براساس حرکت خورشید داشته باشیم و دو علت تغییر طول روزهای شمسی ظاهری جبران گردد، منجمین، خورشیدی فرضی به نام خورشید متوسط^۱ یا میانگین در نظر گرفته اند. این خورشید فرضی، در طول یکسال حرکت ظاهری خورشید واقعی^۲ در امتداد دایره البروج، یک بار دایره استوای سماوی را با سرعتی یکنواخت می پیماید. ظهر متوسط^۳، لحظه ای است که خورشید متوسط از نصف النهار یک محل عبور می کند و آن را ظهر متوسط محلی^۴ می نامند. روز شمسی متوسط^۵ فاصله زمانی دو عبور پیاپی خورشید متوسط از نصف النهار محل است. در سایر اوقات، ساعات روز شمسی متوسط، توسط زاویه ساعتی خورشید متوسط از نصف النهار محل بطرف مغرب، از صفر تا ۲۴ ساعت مشخص می گردد. برای اوقات رسمی، مناسبتر است، که روز متوسط در نیمه شب، بعنوان ساعت صفر، شروع گردد که آن را نیمه شب متوسط محلی^۶ می نامند. روز شمسی متوسط به بیست و چهار ساعت و هر ساعت متوسط^۷ به ۶۰ دقیقه و هر دقیقه متوسط^۸ به ۶۰ ثانیه متوسط^۹ تقسیم شده است. روز شمسی متوسط همان روزی است که در تنظیم ساعتهای معمولی بکار می رود و طوری میزان شده است که در هر روز سال، لحظه ظهر متوسط، هنگام عبور خورشید متوسط فرضی از نصف النهار محل، در سر ساعت ۱۲ اتفاق می افتد. ساعتی که ساعت منظم نجومی را نشان می دهد، در یک روز شمسی متوسط نسبت به ساعتی که وقت شمسی متوسط را می نمایاند ۳ دقیقه و ۵۵/۵۵۵ ثانیه نجومی جلو می افتد؛ بعبارت دیگر طول روز شمسی متوسط ۲۴ ساعت و ۳ دقیقه و ۵۵/۵۵۵ ثانیه نجومی است.

در عمل، منجمین، بدون رصد خورشید، وقت شمسی متوسط را تعیین می کنند. ستارگان را برای تعیین زمان نجومی، مورد رصد قرار داده، و سپس آن را به وقت شمسی متوسط، توسط فرمول ریاضی، که از رصدهای قبلی خورشید نسبت به ستارگان بدست آمده است، تبدیل می کنند.

۹. تبدیل فواصل زمانی شمسی متوسط به فواصل زمانی نجومی و برعکس

قبلا طول روز نجومی را با طول روز شمسی متوسط مقایسه کردیم و دیده شد که

- | | | |
|--------------------|-------------------|------------------------|
| 1. Mean Sun | 2. True Sun | 3. Mean Noon |
| 4. Local Mean Noon | 5. Mean Solar Day | 6. Local Mean Midnight |
| 7. Mean Hour | 8. Mean Minute | 9. Mean second |

طول روز شمسی متوسط ۳ دقیقه و ۵۶/۵۵۵ ثانیه از روز نجومی بلندتر است. همچنین پیش از این در فصل ششم، در مثال (۴-۶) دیدیم که در هر سال شمسی، که از ۳۶۵/۲۴۲۲ روز شمسی متوسط تشکیل شده است، ۳۶۶/۲۴۲۲ روز نجومی موجود است، یعنی:

$$\begin{aligned} 366/2422 \text{ روز نجومی} &= 365/2422 \text{ روز شمسی متوسط} \\ \text{روز نجومی} &= (1 + \frac{1}{365/2422}) = 1 \text{ روز شمسی متوسط} \\ 56/555 \text{ ثانیه نجومی و } 3 \text{ دقیقه و } 24 \text{ ساعت} &= 1 \text{ روز شمسی متوسط} \end{aligned}$$

بنابراین

۹/۸۵۶۵ ثانیه نجومی + یک ساعت نجومی = یک ساعت شمسی متوسط
۰/۱۶۴۲ ثانیه نجومی + یک دقیقه نجومی = یک دقیقه شمسی متوسط
۰/۰۰۲۷ ثانیه نجومی + یک ثانیه نجومی = یک ثانیه شمسی متوسط
بنابراین برای تبدیل ساعت شمسی متوسط به ساعت نجومی، می بایست به ازاء هر ساعت شمسی متوسط ۹/۸۵۶۵ ثانیه نجومی، به آن اضافه شود. این مقدار تصحیح، شتاب^۱، نامیده می شود. به همین ترتیب:

$$\begin{aligned} 365/2422 \text{ روز شمسی متوسط} &= 366/2422 \text{ روز نجومی} \\ \text{روز شمسی متوسط} &= \frac{365/2422}{366/2422} = 1 \text{ روز نجومی} \\ \text{روز شمسی متوسط} &= \left(1 - \frac{1}{366/2422}\right) = 1 \text{ روز نجومی} \end{aligned}$$

یا

۴/۰۹ ثانیه شمسی متوسط و ۵۶ دقیقه و ۲۳ ساعت = یک روز نجومی
۹/۸۲۹۶ ثانیه شمسی متوسط - یک ساعت شمسی متوسط = یک ساعت نجومی
۰/۱۶۳۸ ثانیه شمسی متوسط - یک دقیقه شمسی متوسط = یک دقیقه نجومی
۰/۰۰۲۷ ثانیه شمسی متوسط - یک ثانیه شمسی متوسط = یک ثانیه نجومی
بنابراین برای تبدیل ساعت نجومی به ساعت شمسی متوسط، می بایست به ازای هر ساعت نجومی، ۹/۸۲۹۶ ثانیه از ساعت نجومی کاسته شود. این مقدار تصحیح به نام پس افت^۲ معروف است.

مثال (۷-۱) - فاصله زمانی ۴ ساعت و ۲۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه شمسی متوسط را به وقت نجومی تبدیل کنید.

راه حل - مطابق آنچه که توضیح داده شد، برای تبدیل ساعت شمسی متوسط

به ساعت نجومی، می بایست اول مقدار شتاب، به ازای ۹/۸۵۶۵ ثانیه برای هر ساعت شمسی متوسط، محاسبه گردد، بنابراین،

$$\text{ثانیه } ۳۹/۴۲۶ = ۹/۸۵۶۵ \times ۴$$

$$\text{ثانیه } ۳/۲۸۴ = ۰/۱۶۴۲ \times ۲۰$$

$$\text{ثانیه } ۰/۰۸۱ = ۰/۰۰۲۷ \times ۳۰$$

$$\text{ثانیه } ۴۲/۷۹۱ \text{ جمع}$$

$$+ ۳۰ \text{ ثانیه و } ۲۰ \text{ دقیقه و } ۴ \text{ ساعت} = \text{فاصله زمانی شمسی متوسط}$$

$$\text{ثانیه } ۴۲/۷۹۱$$

$$\text{ثانیه } ۱۲/۷۹۱ \text{ و } ۲۱ \text{ دقیقه و } ۴ \text{ ساعت} = \text{فاصله زمانی نجومی}$$

مثال (۷-۲) — فاصله زمانی ۸ ساعت و ۴۰ دقیقه و ۵۰ ثانیه نجومی را به وقت شمسی متوسط تبدیل کنید.

راه حل — مطابق آنچه که توضیح داده شد، برای تبدیل ساعت نجومی به وقت شمسی متوسط، می بایست اول مقدار پس افت را به ازای ۹/۸۲۹۶ ثانیه برای هر ساعت نجومی، محاسبه کرد، بنابراین،

$$\text{ثانیه } ۷۸/۶۳۷ = ۹/۸۲۹۶ \times ۸$$

$$\text{ثانیه } ۶/۵۵۲ = ۰/۱۶۳۸ \times ۴۰$$

$$\text{ثانیه } ۰/۱۳۵ = ۰/۰۰۲۷ \times ۵۰$$

$$\text{ثانیه } ۸۵/۳۲۴ \text{ جمع}$$

$$- ۵۰ \text{ ثانیه و } ۴۰ \text{ دقیقه و } ۸ \text{ ساعت} = \text{فاصله زمانی نجومی}$$

$$\text{ثانیه } ۲۵/۳۲۴ \text{ و } ۱ \text{ دقیقه}$$

$$\text{ثانیه } ۲۴/۶۷۶ \text{ و } ۳۹ \text{ دقیقه و } ۸ \text{ ساعت} = \text{فاصله زمانی متوسط شمسی}$$

۱۰. وقت متوسط محلی

وقت متوسط محلی هر مکان، بدین ترتیب سنجیده می شود که لحظه عبور خورشید متوسط از نصف النهار محل، ساعت ۱۲ ظهر است و روز متوسط، از نیمه شب از ساعت صفر آغاز می گردد. حرکت روزانه ظاهری خورشید از مشرق به مغرب است، بنابراین اگر دو محل A و B طوری قرار گرفته باشند که محل B در مغرب محل A باشد، واضح

است که ظهر متوسط در محل A زودتر از محل B واقع می شود. لذا اختلاف ظهر متوسط در نقاط مختلف، بستگی به اختلاف طول جغرافیایی آنها دارد. ظهر متوسط نقاط واقع بر روی یک نصف النهار، در یک لحظه، اتفاق می افتد. بنابراین اگر دو محل A و B دارای طولهای جغرافیایی مختلف بوده و وقت متوسط یکی از آنها مثلاً A معلوم باشد، وقت متوسط محل دیگر، در همان لحظه از روی اختلاف طولهای جغرافیایی آنها قابل محاسبه است. برای این کار کافی است که اختلاف طولهای جغرافیایی را به زمان تبدیل کرده (هر ۱۵° اختلاف طول جغرافیایی معادل یک ساعت)، نتیجه را از وقت A کسر (در صورتیکه محل B در مغرب A) و یا آن را به وقت A اضافه (در صورتیکه محل B در مشرق محل A باشد) کرد.

وقت متوسط محلی با وجود یکنواخت بودن، مناسب نیست چه، باز محلی بوده و بستگی به نصف النهار محل دارد و معایب مذکور در مورد وقت شمسی ظاهری محلی در این مورد هم صادق است، چه، خورشید متوسط، مانند خورشید حقیقی، در هر لحظه فقط می تواند بر روی یک نصف النهار قرار گیرد.

۱۱. وقت تقویمی^۱ و زمان اتمی^۲

وقت نجومی، وقت شمسی ظاهری و وقت شمسی متوسط بر مبنای حرکت دورانی زمین استوار است. برای قرنهای ثانیه واحد اساسی زمان را، بعنوان یک هشتاد و شش هزار و چهارصدم $\frac{1}{86400} = \left(\frac{1}{24} \times \frac{1}{60} \times \frac{1}{60} \right)$ یک روز شمسی متوسط محسوب می داشتند و بدین سبب ثانیه، مستقیماً به میزان حرکت دورانی زمین ارتباط داشت. در اثر بررسیهای انجام شده در نیمه اول قرن بیستم، چنین نتیجه گرفته شد که آهنگ حرکت دورانی زمین متغیر است.

دوره حرکت دورانی زمین در ۲۴ ساعت و یا $86,400$ ثانیه، بوسیله فاصله دو عبور پیاپی خورشید متوسط از نصف النهار محل تعیین شده بود. سؤال اینست که آیا این دوره ثابت است یا خیر. از آنجایی که خود حرکت دورانی زمین، اساس اندازه گیری زمان را تشکیل می دهد، لذا فهمیدن هر نوع تغییر در آن، مشکل است، چه، چنین ساعتی که بتواند روزهای متوالی بصورت کاملاً یکنواخت کار کند، ساخته نشده بود.

اولین علامت تغییر طول روز، از مقایسهٔ رصدِ گرفتگیهای خورشید و ماه در ایام قدیم و جدید حاصل شد. با نظریهٔ منظومهٔ شمسی، می توان گرفتگیهای ماه و خورشید در ایام گذشته و آینده را دقیقاً حساب کرد. گرفتگیهای خورشید و ماه در ایام زودتری نسبت به نتیجهٔ محاسبه، اتفاق افتاده بود و در ابتدا چنین تصور می شد که آهنگ حرکت ماه به دور زمین، سریعتر شده باشد. اما چون تسریع ظاهری حرکت ماه با توجه به نیروی گرانشی سایر اعضای منظومهٔ شمسی، قابل توجیه نبود. لذا آهسته تر شدن حرکت دورانی زمین و در نتیجه، افزایش طول واحد زمان، قابل توجیه شد. این پدیده در اثر اصطکاک جزرومدی، حاصل می گردد و در یک قرن، موجب افزایش طول روز به میزان $0/0016$ ثانیه و یا افزایش طول روز به میزان $10^{-8} \times 5$ ثانیه در روز می شود. میزان تغییر طول روز، بی اندازه کم است، اما در طول قرون، بر روی هم جمع شده و مقادیر قابل توجهی را پدید می آورد.

چنانکه ناظری در ابتدای شروع یک قرن، ساعت مکانیکی کاملی داشته باشد که در فاصلهٔ دو عبور پیاپی و اولیهٔ خورشید متوسط از نصف النهار محل دقیقاً $0/0016$ ثانیه را نشان دهد، ساعت، در پایان قرن اشتباه خواهد داشت، چه در اولین روز شروع قرن بعدی، طول یک روز، برابر $0/0016 \times 86,400$ ثانیه خواهد بود. متوسط طول روز در قرن اولی مثلاً در وسط قرن برابر $0/0008 \times 86,400$ ثانیه بوده، و از آنجایی که در یک قرن $36,525 = 100 \times 365/25$ روز وجود دارد، لذا اشتباهات جمع شده در طی سالها برابر است با:

$$\text{ثانیه } 29 = 36,525 \times 0/0008$$

در ابتدای قرن بعدی میزان ساعت باندازهٔ $0/0016$ ثانیه در روز در اشتباه خواهد بود و در پایان قرن بعدی، ساعت، طول روز را $0/0032 \times 86,400$ ثانیه نشان خواهد داد. در نتیجه در نیمهٔ قرن بعدی متوسط طول روز برابر

$$\frac{0/0016 + 0/0032}{2} = 0/0024$$

ثانیه می شود و لذا اشتباه جمع شدهٔ ساعت، در پایان قرن بعدی برابر است با:

$$\text{ثانیه } 88 = 36,525 \times 0/0024$$

اما ساعت در ابتدای قرن دوم دارای اشتباه جمع شدهٔ 29 ثانیه ای بود، در نتیجه، اشتباه جمع شدهٔ ساعت، در پایان قرن بعدی خواهد شد:

ثانیه $117 = 88 + 29$

با ادامه این محاسبه، میزان اشتباه جمع شده ساعت در جدول (۷-۲) داده شده است. یکنواخت نبودن طول روز، نه تنها در اوقات گرفتگی ماه و خورشید که با دقت زیادی قابل رصدند، تأثیر دارد، بلکه در تمام پدیده‌های دوره‌ای جهان مانند حرکت سیارات و اقمار و غیره نیز تأثیر می‌گذارد.

علاوه بر افزایش طول روز در اثر اصطکاک جزر و مد، تغییرات کم و نامنظمی نیز موجود است که موجب افزایش سرعت مداری ماه و یا کاهش آن می‌شود. چنین تغییراتی در طول روز، سبب جمع شدن اشتباه در ساعت، در حد نیم دقیقه کند و یا تند رفتن آن می‌شود. علت این امر ممکن است در اثر تغییرات در پخش ماده در درون زمین صورت پذیرد.

جدول (۷-۲) جمع شدن اشتباه ساعت در قرنهای متوالی

تاریخ قرن	اشتباه ساعت (تند رفتن ساعت)	ثانیه ۰
۰	(ثانیه ۰)	۰
۱۰۰	(۲۹ »)	۲۹ »
۲۰۰	(۱۱۷ »)	۵۷ و ۱ دقیقه »
۳۰۰	(۲۶۳ »)	۲۳ و ۴ »
۴۰۰	(۴۶۸ »)	۷ و ۴۸ »
۵۰۰	(۷۳۰ »)	۱۲ و ۱۰ »
۶۰۰	(۱،۰۵۲ »)	۱۷ و ۳۲ »
۷۰۰	(۱،۴۳۲ »)	۲۳ و ۵۲ »
۸۰۰	(۱،۸۷۰ »)	۳۱ و ۱۰ »
۹۰۰	(۲،۳۶۷ »)	۳۹ و ۲۷ »
۱،۰۰۰	(۲،۹۲۲ »)	۴۸ و ۴۰ »
۲،۰۰۰	(۱۱،۶۸۸ »)	۱۴ و ۴۸ و ۳ ساعت »

بعد از ساخته شدن ساعتهای دقیقی که می‌توانند میزان خود را در طی یکسال و یا بیشتر نگاه دارند، تغییر دیگری در طول روز پیدا شد که در اثر چگونگی پخش توده هوا و برف بر روی کره زمین صورت می‌پذیرد. هوا در زمستانها، بعلت سرد بودن

زیاد، بر روی قاره آسیا، مجتمع می شود.

بعلت تغییرات طول روز که ذکر شد، ثانیه، توسط جامعه علمی بین المللی در سال ۱۹۶۵ دوباره تعریف شد. طبق تعریف جدید، ثانیه عبارت از کسر

۱

$$31,556,925/9747$$

از یک سال شمسی در تاریخ ۳۱ دسامبر ۱۸۹۹، در ساعت ۱۲ تقویمی است—در متون نجومی، ۳۱ دسامبر ۱۸۹۹ بصورت صفرم ژانویه ۱۹۰۰ نوشته می شود—این ثانیه، به نام ثانیه تقویمی^۱ یا ثانیه جداول نجومی موسوم گشته، تا از ثانیه های دیگر قابل تشخیص باشد و وقت مربوط، وقت تقویمی و یا وقت جداول نجومی نامیده می شود. علت بکار بردن تاریخ مشخص، اینست که طول سال شمسی، دقیقاً ثابت نیست و به آرامی کم می شود، اگرچه مقدار تغییر آن کمتر از یک ثانیه در یک قرن است. سال شمسی^۲ که به سال برجی^۳ و سال اعتدالی^۴ نیز موسوم است عبارت از فاصله زمانی بین دو عبور پیاپی خورشید از نقطه اعتدال بهاری است که تقریباً برابر $365/24220$ روز متوسط خورشیدی و یا مساوی ۳۶۵ روز و ۵ ساعت و ۴۸ دقیقه و $46/08$ ثانیه است.

گرچه وقت تقویمی را می توان یکنواخت فرض کرد، اما در عمل، دارای دو نقیصه است. اول اینکه: می بایست از طریق رصد اجرام سماوی مانند ماه، تعیین شود که دارای دقت مورد لزوم نیست. دوم اینکه: تقریباً بعد از گذشت شش ماه، تعیین آن ممکن می شود. و نمی توان این مدت را صبر کرد تا فهمید که ۶ ماه قبل، وقت، چگونه بوده است. اما بهر صورت روش اساسی تعیین وقت تقویمی، بر مبنای حرکت مداری زمین بدور خورشید صورت می گیرد و وضعیت زمین با رصد خورشید نسبت به ستارگان، در رابطه با دایره نصف النهار ناظر انجام می شود.

وقت تقویمی در عمل، کاربرد ندارد؛ عبارت دیگر ساعتی که بتواند وقت تقویمی را نشان دهد، موجود نیست. اما وقت تقویمی در مکانیک سماوی^۵ اهمیت داشته و در جداول نجومی سیارات و ماه^۶ بکار می رود.

به سبب نقیصه های مذکور و پیشرفت تکنولوژی، از سال ۱۹۵۶ به بعد و همچنین بعلت نیاز کارهای علمی، ثانیه، بار دیگر مطابق ساعت اتمی تعریف شد.

1. Ephemeris second 2. Solar Year 3. Tropical Year 4. Equinoctial Year
5. Celestial Mechanics 6. The Ephemeris of the Planets and the Moon

اصولاً چگونه می‌توان تعیین کرد که دوره یک پدیده تناوبی که برای سنجش زمان بکار می‌رود، ثابت می‌ماند و تغییر نمی‌کند؟ این عمل، با مقایسه پدیده تناوبی با یک پدیده تناوبی دیگر صورت می‌پذیرد.

مثلاً حرکت دورانی زمین به دور خود را می‌توان با حرکت نوسانی یک آونگ که متصل به یک دستگاه شمارشگر است و در نتیجه، یک ساعت پاندولی^۱ را تشکیل می‌دهد، سنجید. چنانکه نوسان پاندول، ثابت نگاهداشته شود، مشاهده خواهد شد که تعداد حرکات نوسانی پاندول در طی یک گردش زمین به دور محورش، در حد دقت ساعت پاندولی، ثابت و قابل تکرار است. تا سال ۱۹۳۰ میزان دقت بهترین ساعت پاندولی در حدود ۰/۰۰۲ ثانیه در روز بود. بعداً اینگونه ساعتها، در سنجش دقیق وقت، توسط ساعت‌های بلور کوارتز^۲ و ساعت‌های اتمی جایگزین شدند. ساعت‌های کوارتز براساس دوره نوسان بلور کوارتز استوارند.

یک ساعت اتمی براساس نوسانات الکترونیهای اتمهای سزیم^۳ که به یک ماشین شمارشگر الکترونیکی متصل است، ساخته می‌شود. از مقایسه ساعت‌های دقیق اتمی مختلف، دیده شد که تا حد یک قسمت در ۱۰ به توان ۱۱ (۱۰^{۱۱}) قابل تکرارند. اما در مقایسه حرکت دورانی زمین با ساعت اتمی، ملاحظه شد که حرکت دورانی زمین یکنواخت و قابل تکرار نیست که البته چگونگی آن توضیح داده شد.

در نتیجه، ثانیه، در سال ۱۹۶۷ بر مبنای دوره نوسان الکترونها در اتمهای سزیم^۴ استوار شد. ثانیه در حال حاضر دقیقاً شامل تعداد —/۷۷۰،۶۳۱،۱۹۲،۹ نوسان است.

این نوع ثانیه را ثانیه اتمی^۵ نامند و بفوریت و با دقت بسیار زیاد قابل دسترسی است و در کلیه موارد اندازه‌گیری زمان، بجز در موارد نجومی که همان وقت تقویمی در آن کاربرد دارد، بکار می‌رود.

ثانیه اتمی، تا حد امکان نزدیک ثانیه تقویمی انتخاب شده است، اما تساوی ثانیه اتمی و ثانیه تقویمی صد درصد نیست و میزان ثانیه اتمی از ثانیه تقویمی، به مرور زمان فاصله خواهد گرفت، مگر اینکه هر چند مدتی، میزان آن دوباره تصحیح شود. در حال حاضر روش اندازه‌گیری فواصل زمانی، براساس ساعت اتمی استوار است.

۱۲. تعدیل زمان^۳ (معادله زمان)

سنجش مبدا زمانی، توسط ساعت شمسی متوسط صورت می گیرد، لذا رابطه بین وقت شمسی ظاهری و وقت شمسی متوسط، حائز اهمیت است. تفاوت بین ساعت شمسی متوسط و ساعت شمسی ظاهری در هر لحظه را تعدیل زمان (معادله زمان) نامند.

از آنجایی که خورشید متوسط، یک خورشید فرضی است، لذا بهیچ صورتی نمی توان آن را مستقیماً رصد کرد. قبلاً وقت شمسی ظاهری، از روی رصد خورشید تعیین می شد. سپس بر مبنای آن، با بکار بردن تعدیل زمان، وقت شمسی متوسط محاسبه می گردید. در حال حاضر وقت شمسی متوسط، خیلی راحتتر از تبدیل وقت نجومی، که از رصد اجرام سماوی تعیین می شود، توسط علائم بی سیم، بدست می آید. بنابراین مناسبتر است که تعدیل زمان را مقدار تصحیحی بدانیم که در مورد وقت شمسی متوسط اعمال می شود تا وقت شمسی ظاهری بدست آید. اما در جداول نجومی، مفهوم تعدیل زمان توسط تفاوت وقت شمسی ظاهری و وقت شمسی متوسط، بیان می گردد، یعنی:

$$(وقت\ شمسی\ متوسط, MT) - (وقت\ شمسی\ ظاهری, AT) = \text{تعدیل زمان}$$

$$EOT = AT - MT \quad (7-1)$$

در نتیجه، تعدیل زمان در حالی که وقت شمسی ظاهری از وقت شمسی متوسط بیشتر است، مثبت، و در حالی که وقت شمسی ظاهری از وقت شمسی متوسط کمتر است، منفی خواهد بود. عبارت دیگر وقتی که خورشید حقیقی زودتر از خورشید متوسط از نصف النهار ناظر می گذرد، تعدیل زمان مثبت و وقتی که خورشید حقیقی بعد از خورشید متوسط از نصف النهار ناظر عبور می کند، تعدیل زمان، منفی است.

بنابراین مقادیر تعدیل زمان می بایست بصورت جبری با وقت شمسی متوسط جمع گردد، تا زمان شمسی ظاهری بدست آید:

$$AT = MT + EOT \quad (7-2)$$

در حقیقت وقتی که وقت شمسی ظاهری و وقت شمسی متوسط مقایسه می گردند، آنها برای نصف النهار محل در نظر گرفته می شوند؛ عبارت دیگر مفهوم فرمول فوق و فرمول بعدی یکی است:

تعدیل زمان + وقتِ شمسی متوسط محلی^۲ = وقتِ شمسی ظاهری محلی^۱

$$LAT = LMT + EOT$$

(۷-۳)

مقادیر تعدیل زمان در طول سال متغیر است و اندازه‌های آن در جداول نجومی، در لحظه نیمه شب ظاهری^۳ هر روز سال، برای محل‌های واقع بر نصف‌النهار گرینویچ، داده می‌شود. واضح است که مقادیر تعدیل زمان برحسب وقت داده شده و در هر لحظه برابر اختلاف زاویه‌های ساعتی و یا بُعد مربوط به خورشید واقعی و خورشید متوسط، داده شده برحسب زمان است.

تغییر تعدیل زمان در طول سال، بسبب بیضوی بودن مدار^۴ حرکت انتقالی زمین بدور خورشید و تمایل دایرة البروج^۵ نسبت به سطح دایرة استوای زمین است.

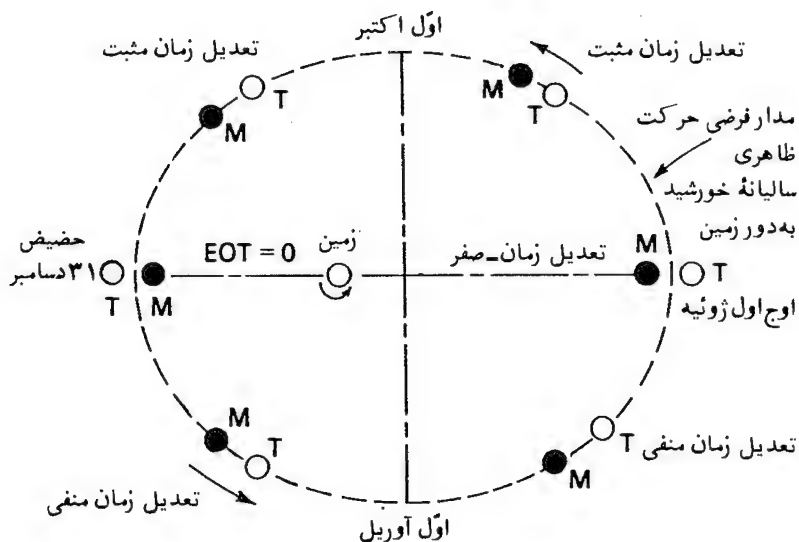
اساساً دو دلیل ذکر شده در فوق، همان دلایلی است که در مورد علت نابرابری روزهای شمسی ظاهری، در طول سال، داده شد. مدار حرکت انتقالی زمین بدور خورشید بشکل بیضی است که خورشید در یکی از کانون‌های آن قرار دارد. در نتیجه، مطابق قانون گرانش^۶، زمانی که زمین به خورشید نزدیکتر است سرعت حرکت آن بیشتر از وقتی است که از آن دورتر است. بنابراین سرعت حرکت ظاهری خورشید بر روی دایرة البروج با تغییر فاصله زمین از خورشید تغییر می‌کند. در حالی که سرعت حرکت خورشید متوسط بر روی دایرة استوای سماوی یکنواخت است.

همچنین سطح مدار حرکت ظاهری خورشید واقعی، بر روی دایرة البروج، نسبت به سطح مدار حرکت خورشید متوسط، بر روی دایرة استوای سماوی، باندازه^۷ ۲۳/۴۵ متمایل است. حرکت یکنواخت در امتداد دایرة البروج، نمایانگر حرکت یکنواخت خورشید متوسط بر روی دایرة استوای سماوی نیست.

برای بدست آوردن مقدار کل تغییرات تعدیل زمان، در اثر دو دلیل فوق‌الذکر، اثر هر کدام از علت‌ها جداگانه مورد بحث قرار گرفته، سپس جمع جبری تغییرات ناشی از هر علت، حساب می‌شود.

در مرحله اول، فرض می‌کنیم که مدار دایرة البروج نسبت به مدار دایرة استوا تمایل نداشته و مدار حرکت ظاهری خورشید را بر روی یک بیضی واقع بر صفحه استوای سماوی فرض می‌کنیم، شکل (۷-۶).

1. Local Apparent Time (LAT)
2. Local Mean Time (LMT)
3. Apparent Midnight
4. Ellipticity of the Orbit
5. Obliquity of the Ecliptic
6. The Law of Gravitation



شکل (۶-۷) — اثربییضی شکل بودن مدار زمین بر روی تعدیل زمان.

در این شکل چنین تصور شده که خورشید متوسط (M) و خورشید واقعی (T) هر دو، حرکت خود را، از نقطه حضیض در ۳۱ ماه دسامبر، بر روی مدار بیضی شکل، در جهت ارائه شده، شروع کنند. خورشید متوسط، دارای حرکت یکنواختی است و مسیر بیضی را در مدت زمان مساوی با مدت حرکت سالیانه خورشید واقعی، می پیماید، در حالی که خورشید واقعی در نزدیکی حضیض، دارای سرعت زاویه ای^۱ بیشتری نسبت به خورشید متوسط است. به همین جهت بعد از ۳۱ دسامبر، خورشید واقعی جلوتر از خورشید متوسط قرار می گیرد.

حال نظر به اینکه جهت حرکت دورانی زمین به دور محورش (از مغرب به مشرق)، هم جهت حرکت ظاهری خورشید بر روی مدار بیضی شکل است (جهت فلش در شکل)، لذا نصف النهار هر محلی بر روی زمین، اول بار مقابل خورشید متوسط و بعداً مقابل خورشید واقعی قرار خواهد گرفت، و این بدان معنی است که ظهر متوسط^۲ زودتر از ظهر ظاهری^۳ شروع و یا بعبارت دیگر وقت شمسی متوسط، جلوتر از وقت شمسی ظاهری بوده، در نتیجه، تعدیل زمان منفی است. در این مسیر، خورشید حقیقی تا زمانی جلوتر از خورشید متوسط باقی می ماند که سرعت آن از متوسط سرعت، در کل مسیر مدار

1. Angular Velocity 2. Mean Noon 3. Apparent Noon

بیشتر باشد و این تا زمانی است که فاصله زاویه‌ای آن از نقطه حضيض، تقریباً ۹۰ درجه باشد و خورشید حقیقی در اوّل ماه آوریل، به چنین نقطه‌ای می‌رسد. بعد از رسیدن به این نقطه گرچه هنوز خورشید حقیقی جلوتر از خورشید متوسط است، اما با کمتر شدن سرعت زاویه‌ای خورشید حقیقی، فاصله آن از خورشید متوسط کمتر و کمتر می‌شود و خورشید متوسط کم کم در اوّل ماه ژوئیه در نقطه اوج، به خورشید حقیقی می‌رسد که در حقیقت اندازه تعدیل زمان، صفر می‌شود. بنابراین بین ۳۱ ماه دسامبر و اوّل ماه ژوئیه، مقادیر تعدیل زمان منفی است. بعد از اوّل ماه ژوئیه، سرعت زاویه‌ای خورشید حقیقی کمتر از سرعت یکنواخت خورشید متوسط است و لذا خورشید حقیقی از خورشید متوسط عقبتر حرکت می‌کند. در این حالت، ظهر شمسی ظاهری زودتر از ظهر شمسی متوسط واقع می‌شود و بعبارت دیگر، وقت شمسی ظاهری، جلوتر از وقت شمسی متوسط می‌باشد و در نتیجه، تعدیل زمان مثبت است. فاصله بین وقت شمسی ظاهری و وقت شمسی حقیقی تا موقعی که فاصله زاویه‌ای در اوّل ماه اکتبر به ۹۰ درجه برسد، بطور مداوم بیشتر می‌شود. بعد از این تاریخ، فاصله دو خورشید، تدریجاً کمتر می‌شود تا زمانی که دوباره آنها در نقطه حضيض در ۳۱ دسامبر بهم برسند که در این حالت مقدار تعدیل زمان نیز صفر است. بنابراین تعدیل زمان از اوّل ژوئیه تا ۳۱ دسامبر مثبت است.

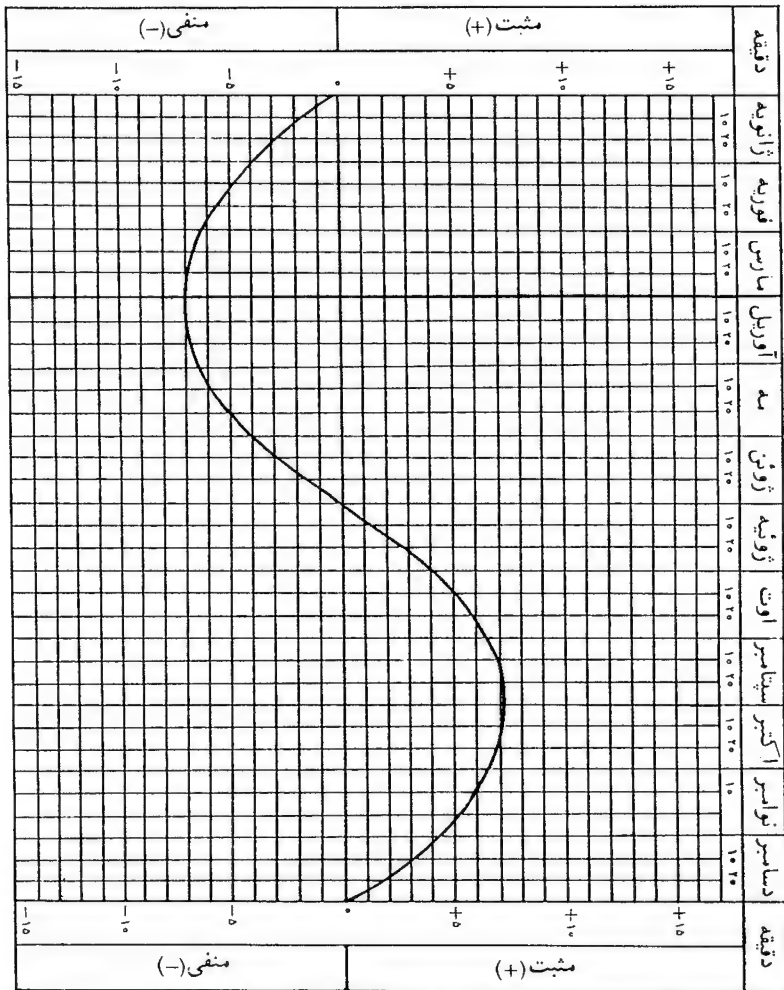
در شکل (۷-۷)، منحنی تغییرات تعدیل زمان، ناشی از بیضی شکل بودن مدار حرکت انتقالی زمین به تنهایی داده شده است.

در مرحله دوم، تغییرات تعدیل زمان تنها در اثر متماایل بودن دایرة البروج نسبت به سطح استوای سماوی را مورد بررسی قرار داده و از بیضی شکل بودن مدار، صرف نظر می‌شود؛ یعنی فرض می‌شود که مدار دایره‌ای شکل باشد.

در شکل (۷-۸)، فرض می‌شود که خورشید حقیقی بر روی دایرة البروج $R \gamma S \sim R$ با سرعتی یکنواخت (مسیر دایره‌ای شکل) در حال حرکت است و خورشید متوسط هم بر روی دایرة استوای سماوی $E \gamma Q \sim E$ با سرعتی یکنواخت — برابر سرعت یکنواخت خورشید حقیقی — در حال دوران باشد و همچنین زمین هم در مرکز کره سماوی، از مغرب به مشرق، در حال دوران به دور محور سماوی است.

اگر دو خورشید حقیقی و متوسط، از نقطه اعتدال بهاری، در مسیرهای خود، با سرعت‌های مساوی شروع به حرکت کنند، در هر زمانی کمانهای پیموده شده توسط دو خورشید، بر روی دایرة البروج و دایرة استوای سماوی، برابر خواهند بود. وقتی که خورشید حقیقی در محل T باشد، خورشید متوسط در نقطه‌ای مانند M است بنحوی که

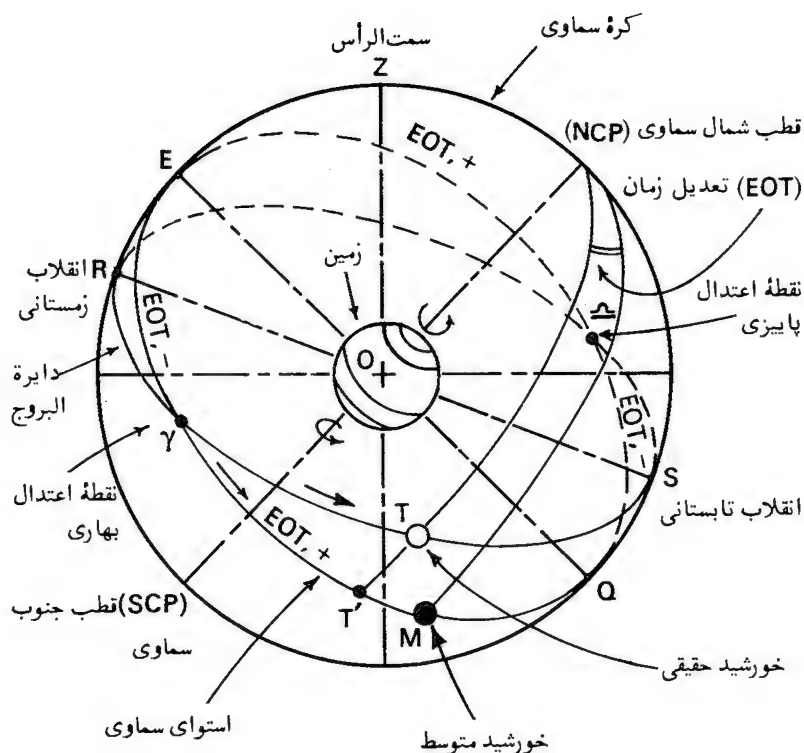
(زمان شمسی متوسط — زمان شمسی ظاهری) — تعدیل زمان



(زمان شمسی متوسط — زمان شمسی ظاهری) — تعدیل زمان

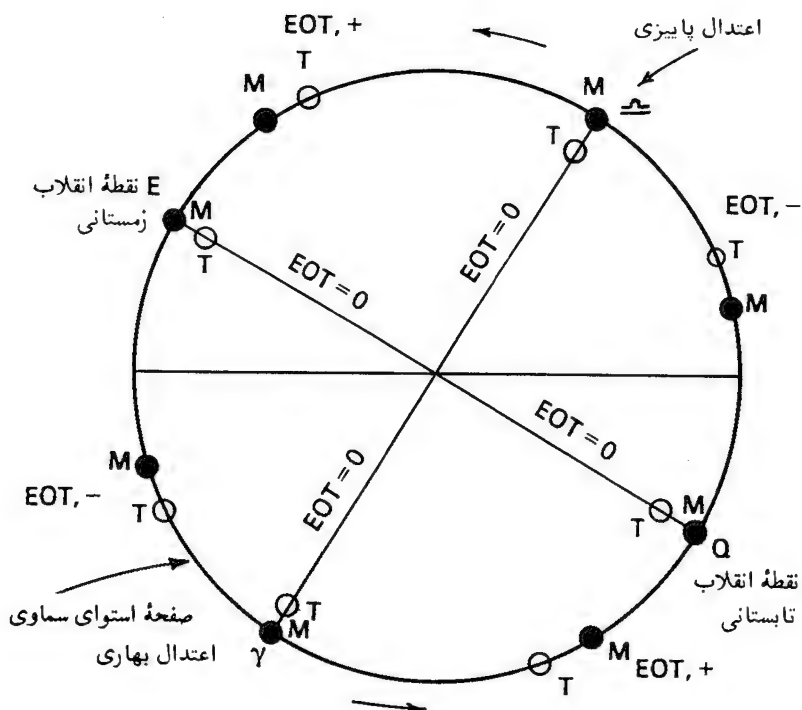
شکل (۷-۷) — تغییرات تعدیل زمان ناشی شده از بیضی شکل بودن مدار حرکت انتقالی زمین.

$\gamma_T = \gamma_M$ باشد. چنانکه کمان‌های $(NCP)_T$ و $(NCP)_M$ ، قسمتی از دایره‌های میل عبورکننده از نقاط T و M باشند، دایره میل نقطه T ، دایره استوای سماوی را در



شکل (۷-۸) - اثر تمایل دایره البروج، نسبت به سطح دایره استوای سماوی، در تعدیل زمان،

نقطه T' قطع می کند بطوری که زاویه $M(NCP)T'$ که زاویه بین دایره های میل نقاط T و M است، برابر تعدیل زمان می شود، چه، این زاویه، تفاوت بُعد خورشید متوسط و خورشید حقیقی است. در شکل (۷-۹)، صفحه دایره استوای سماوی به همراه وضعیت خورشید متوسط و خورشید حقیقی در ایام مختلف سال نشان داده شده است. با توجه به این شکل همراه شکل (۷-۸)، دیده می شود که خورشید متوسط (M)، از نقطه اعتدال بهاری در γ ، تا نقطه انقلاب تابستانی در نقطه S ، جلوتر از خورشید حقیقی (T) است و لذا هر نصف النهاری زودتر در مقابل خورشید حقیقی قرار می گیرد. این بدان معنی است که ظهر شمسی ظاهری زودتر از ظهر شمسی متوسط واقع شده و

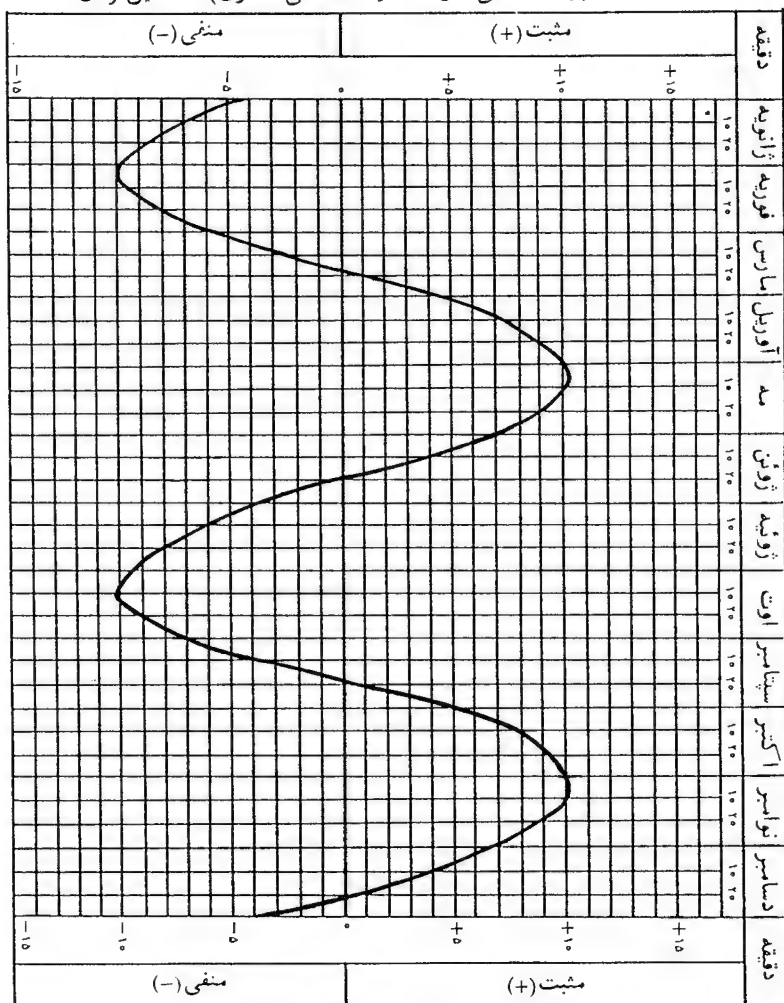


شکل (۷-۹) - تأثیر متمایل بودن دایرة البروج در تعدیل زمان، نشان داده شده بر روی دایرة استوای سماوی.

در نتیجه تعدیل زمان مثبت است. خورشید حقیقی و خورشید متوسط فقط در نقاط اعتدالین و دو نقطه انقلاب تابستانی و زمستانی به همدیگر می‌رسند. از نقطه انقلاب تابستانی در S تا نقطه اعتدال پاییزی، خورشید حقیقی از خورشید متوسط جلوتر حرکت می‌کند و در نتیجه، تعدیل زمان، منفی است. بعد از آن دوباره از نقطه اعتدال پاییزی تا نقطه انقلاب زمستانی در R، مقادیر تعدیل زمان مثبت می‌شود. از نقطه انقلاب زمستانی در R تا نقطه اعتدال بهاری در γ ، تعدیل زمان دوباره منفی است.

در شکل (۷-۱۰)، تغییرات مقادیر تعدیل زمان تنها در اثر متمایل بودن دایرة البروج، داده شده است. وقتی که تغییرات تعدیل زمان ناشی از بیضی شکل بودن مدار زمین و متمایل بودن دایرة البروج، بصورت جبری با همدیگر جمع شوند، منحنی

(زمان شمسی متوسط - زمان شمسی ظاهری) = تعدیل زمان



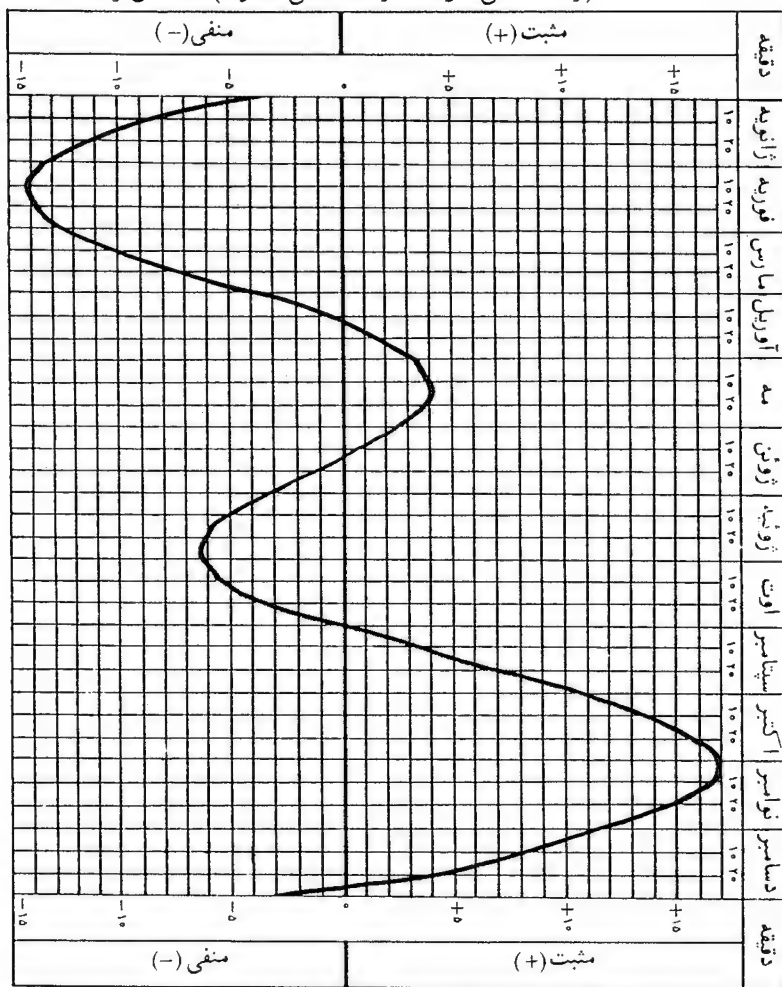
(زمان شمسی متوسط - زمان شمسی ظاهری) = تعدیل زمان

شکل (۷-۱۰) - تغییرات تعدیل زمان ناشی شده از متمایل بودن صفحه دایرة البروج.

تغییرات منظور در شکل (۷-۱۱)، حاصل می شود.

این منحنی همچنین نشان می دهد که یک ساعت خورشیدی تا چه اندازه نسبت به یک ساعت معمولی، جلوتر و یا عقبتر کار می کند. وقتی که تعدیل زمان مثبت است،

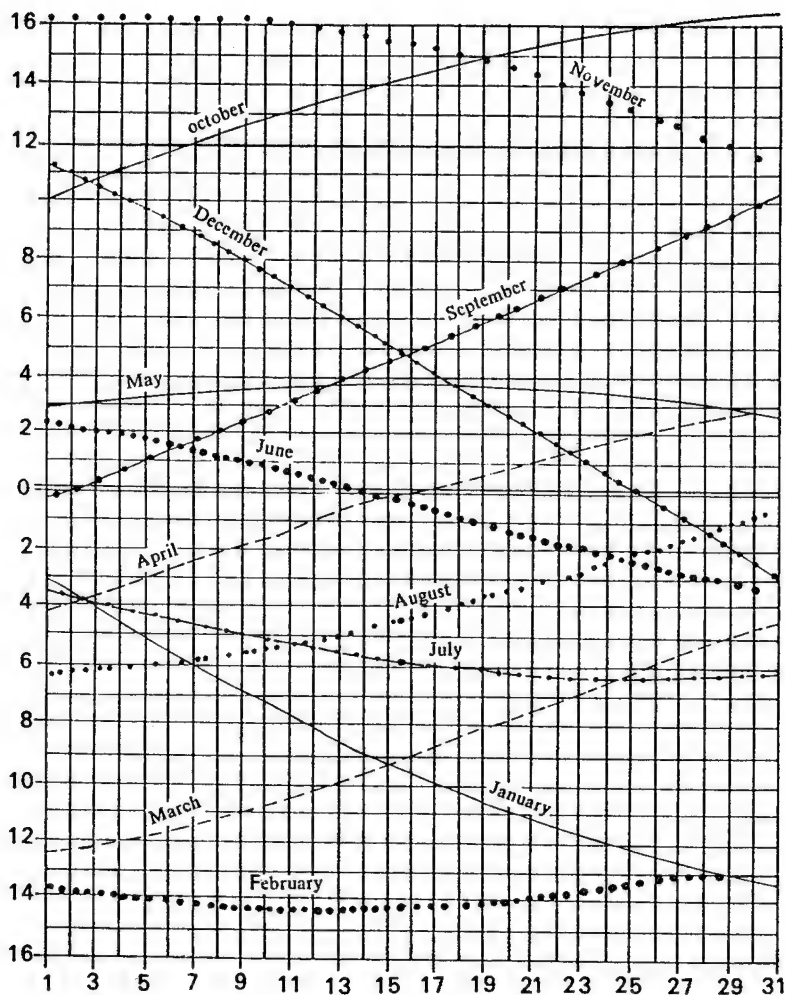
(زمان شمسی متوسط - زمان شمسی ظاهری) = تعدیل زمان



(زمان شمسی متوسط - زمان شمسی ظاهری) = تعدیل زمان

شکل (۷-۱۱) - کل تغییرات تعدیل زمان در طول سال.

ساعت خورشیدی جلوتر و وقتی که منفی است، ساعت خورشیدی عقبتر کار می کند. این منحنی چگونگی تغییرات تعدیل زمان در طول سال را بخوبی نمودار می سازد. دیده می شود که مقادیر تعدیل زمان در اوایل سال گرگوری منفی و با مقادیر بیشتر در



شکل (۷-۱۲) - مقادیر تعدیل زمان در روزهای مختلف ماه.

اواخر سال، مثبت است. در بین این دو حالت، در اواسط سال، منحنی تغییرات تعدیل زمان، تقریباً یک منحنی سینوسی شکل است. این منحنی را نمی‌توان با دقت زیاد بکار برد و برای دقت بیشتر می‌شود مقادیر تعدیل زمان را، در روزهای مختلف ماه، از روی منحنی شکل (۷-۱۲) بدست آورد. اما مقادیر دقیقتر در جدول (۷-۳) ذکر شده است. در این جدول، مقادیر تعدیل زمان در روزهای سال برحسب دقیقه و ثانیه داده شده

جدول (۷-۳) - معادله زمان در روزهای سال

روز	ژانویه		فوریه		مارس		آوریل		مه		ژوئن	
	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه
۱	۱۲	-۳	۳۲	-۱۳	۳۴	-۱۲	۸	-۴	۵۱	+۲	۲۵	+۲
۲	۴۰	-۳	۴۱	-۱۳	۲۳	-۱۲	۵۰	-۳	۵۹	+۲	۱۶	+۲
۳	۸	-۴	۴۸	-۱۳	۱۱	-۱۲	۳۲	-۳	۶	+۳	۶	+۲
۴	۳۶	-۴	۵۵	-۱۳	۵۸	-۱۱	۱۴	-۳	۱۲	+۳	۵۶	+۱
۵	۳	-۵	۱	-۱۴	۴۵	-۱۱	۵۷	-۲	۱۸	+۳	۴۶	+۱
۶	۳۰	-۵	۶	-۱۴	۳۱	-۱۱	۴۰	-۲	۲۳	+۳	۳۶	+۱
۷	۵۷	-۵	۱۰	-۱۴	۱۷	-۱۱	۲۳	-۲	۲۷	+۳	۲۵	+۱
۸	۲۳	-۶	۱۴	-۱۴	۳	-۱۱	۶	-۲	۳۱	+۳	۱۴	+۱
۹	۴۹	-۶	۱۶	-۱۴	۴۸	-۱۰	۴۹	-۱	۳۵	+۳	۳	+۱
۱۰	۱۴	-۷	۱۸	-۱۴	۳۳	-۱۰	۳۲	-۱	۳۸	+۳	۵۱	+۰
۱۱	۳۸	-۷	۱۹	-۱۴	۱۸	-۱۰	۱۶	-۱	۴۰	+۳	۳۹	+۰
۱۲	۲	-۸	۲۰	-۱۴	۲	-۱۰	۰	-۱	۴۲	+۳	۲۷	+۰
۱۳	۲۵	-۸	۱۹	-۱۴	۴۶	-۹	۴۴	-۰	۴۴	+۳	۱۵	+۰
۱۴	۴۸	-۸	۱۸	-۱۴	۳۰	-۹	۲۹	-۰	۴۴	+۳	۳	+۰
۱۵	۱۰	-۹	۱۶	-۱۴	۱۳	-۹	۱۴	-۰	۴۴	+۳	۱۰	-۰
۱۶	۳۲	-۹	۱۳	-۱۴	۵۶	-۸	۱	+۰	۴۴	+۳	۲۳	-۰
۱۷	۵۲	-۹	۱۰	-۱۴	۳۹	-۸	۱۵	+۰	۴۳	+۳	۳۶	-۰
۱۸	۱۲	-۱۰	۶	-۱۴	۲۲	-۸	۲۹	+۰	۴۱	+۳	۴۹	-۰
۱۹	۳۲	-۱۰	۱	-۱۴	۴	-۸	۴۳	+۰	۳۹	+۳	۲	-۱
۲۰	۵۰	-۱۰	۵۵	-۱۳	۴۶	-۷	۵۶	+۰	۳۷	+۳	۱۵	-۱
۲۱	۸	-۱۱	۴۹	-۱۳	۲۸	-۷	۰	+۱	۳۴	+۳	۲۸	-۱
۲۲	۲۵	-۱۱	۴۲	-۱۳	۱۰	-۷	۲۱	+۱	۳۰	+۳	۴۱	-۱
۲۳	۴۱	-۱۱	۳۵	-۱۳	۵۲	-۶	۳۳	+۱	۲۴	+۳	۵۴	-۱
۲۴	۵۷	-۱۱	۲۷	-۱۳	۳۴	-۶	۴۵	+۱	۲۱	+۳	۷	-۲
۲۵	۱۲	-۱۲	۱۸	-۱۳	۱۶	-۶	۵۶	+۱	۱۶	+۳	۲۰	-۲
۲۶	۲۶	-۱۲	۹	-۱۳	۵۸	-۵	۶	+۲	۱۰	+۳	۳۳	-۲
۲۷	۳۹	-۱۲	۵۹	-۱۲	۴۰	-۵	۱۶	+۲	۳	+۳	۴۵	-۲
۲۸	۵۱	-۱۲	۴۸	-۱۲	۲۱	-۵	۲۶	+۲	۵۶	+۲	۵۷	-۲
۲۹	۳	-۱۳	۴۲	-۱۲	۲	-۵	۳۵	+۲	۴۹	+۲	۹	-۳
۳۰	۱۴	-۱۳	۰۰	۰۰	۴۴	-۴	۴۳	+۲	۴۱	+۲	۲۱	-۳
۳۱	۲۴	-۱۳	۰۰	۰۰	۲۶	-۴	۰۰	۰۰	۳۳	+۲	۰۰	۰۰

جدول (۷-۳) - دنباله - معادله زمان در روزهای سال

روز	زویه		اوت		سپتامبر		اکتبر		نوامبر		دسامبر	
	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه
۱	۳۳	-۳	۱۶	-۶	۱۲	-۰	۵	+۱۰	۲۰	+۱۶	۱۱	+۱۱
۲	۴۵	-۳	۱۳	-۶	۷	+۰	۲۴	+۱۰	۲۲	+۱۶	۴۹	+۱۰
۳	۵۷	-۳	۹	-۶	۲۶	+۰	۴۳	+۱۰	۲۳	+۱۶	۲۶	+۱۰
۴	۸	-۴	۴	-۶	۴۵	+۰	۲	+۱۱	۲۳	+۱۶	۲	+۱۰
۵	۱۹	-۴	۵۹	-۵	۵	+۱	۲۰	+۱۱	۲۲	+۱۶	۳۸	+۹
۶	۲۹	-۴	۵۳	-۵	۲۵	+۱	۳۸	+۱۱	۲۰	+۱۶	۱۳	+۹
۷	۳۹	-۴	۴۶	-۵	۴۵	+۱	۵۶	+۱۱	۱۸	+۱۶	۴۸	+۸
۸	۴۹	-۴	۳۹	-۵	۵	+۲	۱۳	+۱۲	۱۵	+۱۶	۲۲	+۸
۹	۵۸	-۴	۳۱	-۵	۲۶	+۲	۳۰	+۱۲	۱۱	+۱۶	۵۶	+۷
۱۰	۷	-۵	۲۳	-۵	۴۷	+۲	۴۶	+۱۲	۶	+۱۶	۲۹	+۷
۱۱	۱۶	-۵	۱۴	-۵	۸	+۳	۲	+۱۳	۰	+۱۶	۲	+۷
۱۲	۲۴	-۵	۵	-۵	۲۹	+۳	۱۸	+۱۳	۵۳	+۱۵	۳۴	+۶
۱۳	۳۲	-۵	۵۵	-۴	۵۰	+۳	۳۳	+۱۳	۴۶	+۱۵	۶	+۶
۱۴	۳۹	-۵	۴۴	-۴	۱۱	+۴	۴۷	+۱۳	۳۷	+۱۵	۳۸	+۵
۱۵	۴۶	-۵	۳۳	-۴	۳۲	+۴	۱	+۱۴	۲۸	+۱۵	۹	+۵
۱۶	۵۲	-۵	۲۱	-۴	۵۳	+۴	۱۴	+۱۴	۱۸	+۱۵	۴۰	+۴
۱۷	۵۸	-۵	۹	-۴	۱۴	+۵	۲۷	+۱۴	۷	+۱۵	۱۱	+۴
۱۸	۳	-۶	۵۷	-۳	۳۵	+۵	۳۹	+۱۴	۵۶	+۱۴	۴۲	+۳
۱۹	۸	-۶	۴۴	-۳	۵۶	+۵	۵۱	+۱۴	۴۳	+۱۴	۱۳	+۳
۲۰	۱۲	-۶	۳۰	-۳	۱۸	+۶	۲	+۱۵	۳۰	+۱۴	۴۳	+۲
۲۱	۱۵	-۶	۱۶	-۳	۴۰	+۶	۱۲	+۱۵	۱۶	+۱۴	۱۳	+۲
۲۲	۱۸	-۶	۱	-۳	۱	+۷	۲۲	+۱۵	۱	+۱۴	۴۳	+۱
۲۳	۲۰	-۶	۴۶	-۲	۲۲	+۷	۳۱	+۱۵	۴۵	+۱۳	۱۳	+۱
۲۴	۲۲	-۶	۳۰	-۲	۴۳	+۷	۴۰	+۱۵	۲۸	+۱۳	۴۳	+۰
۲۵	۲۴	-۶	۱۴	-۲	۴	+۸	۴۷	+۱۵	۱۱	+۱۳	۱۳	+۰
۲۶	۳۵	-۶	۵۸	-۱	۲۵	+۸	۵۴	+۱۵	۵۳	+۱۲	۱۷	-۰
۲۷	۲۵	-۶	۴۱	-۱	۴۶	+۸	۱	+۱۶	۳۴	+۱۲	۴۷	-۰
۲۸	۲۴	-۶	۲۴	-۱	۶	+۹	۶	+۱۶	۱۴	+۱۲	۱۶	-۱
۲۹	۲۳	-۶	۷	-۱	۲۶	+۹	۱۱	+۱۶	۵۴	+۱۱	۴۵	-۱
۳۰	۲۱	-۶	۴۹	-۰	۴۶	+۹	۱۵	+۱۶	۳۳	+۱۱	۱۴	-۲
۳۱	۱۹	-۶	۳۱	-۰	۰۰	+۰	۱۸	+۱۶	۰۰	+۰	۴۳	-۲

است. مثلاً در روز چهارم ژوئیه، اندازه تعدیل زمان منهای ۴ دقیقه و ۸ ثانیه است. مقادیر این جدول، متوسط مقادیر است و سال بسال به مقدار کمی تغییر می کند و تغییرات آن، بستگی به نزدیکی سال مربوط، به سال کبیسه را دارد. مقادیر این جدول ممکن است بمیزان ۱۰ الی ۱۵ ثانیه در ماههای دسامبر و ژانویه، در بعضی سالها، اشتباه داشته باشد، اما میزان اختلاف مقادیر داده شده با مقادیر واقعی، هیچوقت در حدود یک دقیقه نخواهد بود.

تعدیل زمان (EOT) را می توان همچنین از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$EOT = 9/8 \sin 2B - 7/53 \cos B - 1/5 \sin B \quad (7-4)$$

$$B = \frac{360(n-81)}{364}$$

که در آن n، شماره ترتیب روز در سال است ($1 \leq n \leq 365$).

جدول (۷-۴)

n	تعداد روزهای ماه	اسم ماه در تقویم گرگوری
i	۳۱	ژانویه
۳۱+i	۲۸	فوریه
۵۹+i	۳۱	مارس
۹۰+i	۳۰	آوریل
۱۲۰+i	۳۱	مه
۱۵۱+i	۳۰	ژوئن
۱۸۱+i	۳۱	ژوئیه
۲۱۲+i	۳۱	اوت
۲۴۳+i	۳۰	سپتامبر
۲۷۳+i	۳۱	اکتبر
۳۰۴+i	۳۰	نوامبر
۳۳۴+i	۳۱	دسامبر

مقادیر n در ماههای سال گرگوری، در جدول (۷-۴) داده شده است. حرف i در این جدول نمایانگر شماره ترتیب روز در ماه است. در این جدول، تعداد روزهای ماه فوریه ۲۸ روز است، و بنابراین این جدول برای سالهای غیر کبیسه است. در سالهای کبیسه،

می‌بایست به مقادیر داده شده از ماه مارس به بعد، عدد یک اضافه شود.
در ادامه مطلب، فرمول (۷-۴) در طی یک مثال، بکار گرفته می‌شود.
مثال (۷-۳) — مقدار تعدیل زمان در روز چهارم ماه ژوئیه را محاسبه کنید.
راه حل — در روز چهارم ژوئیه مقدار i برابر چهار و در نتیجه با استفاده از جدول (۷-۴) خواهیم داشت:

$$n = 181 + 4 = 185$$

حال با استفاده از فرمول (۷-۴)،

$$B = \frac{360(185 - 81)}{364} = 102/85711$$

$$EOT = 9/87 \sin(205/71422) - 7/53 \cos(102/85711)$$

$$= -1/5 \sin(102/85711)$$

$$EOT = -4/0692364$$

$$EOT = - (4 \text{ ثانیه و } 4 \text{ دقیقه})$$

با مقایسه با جدول این مقدار در حدود ۴ ثانیه کمتر است.

برای بدست آوردن مقادیر خیلی دقیقتر، می‌بایست از جداول نجومی استفاده شود. در جداول نجومی، مقادیر تعدیل زمان در نیمه شب تمام روزهای سال، برای تمام نقاط واقع بر روی نصف النهار گرینویچ داده شده و همچنین میزان تغییر مقادیر در طول یک ساعت نیمه شب نیز بیان شده است. مقادیر تعدیل زمان در لحظه نیمه شب گرینویچ برای تمام نقاط دیگر کره زمین یکسان است.

چنانکه محاسبه تعدیل زمان در ساعات دیگری غیر از نیمه شب مورد نیاز باشد، از روش درونیایی (انترپولاسیون) می‌توان آن را محاسبه کرد. در این مورد به ذکر یک مثال می‌پردازیم:

مثال (۷-۴) — مقدار تعدیل زمان را در ساعت ۱۲ شمسی متوسط به وقت گرینویچ (GMT)، در روز اول ژوئیه سال ۱۹۵۱، از روی مقادیر زیر که از جدول نجومی

استخراج شده، محاسبه کنید.

(ثانیه ۲۸/۴۱ و دقیقه ۳) $EOT = -$ در نیمه شب متوسط گرینچ در اول ژوئیه

۱۹۵۱

ثانیه ۱۱/۸۲ = مقدار تغییر بین ساعت صفر (شروع روز) اول ژوئیه و ساعت صفر دوم ژوئیه (مقدار تغییر در ۲۴ ساعت)

را محل — مقدار تغییر تعدیل زمان در ۱۲ ساعت خواهد شد:

$$\frac{-11/82}{24} \times 12 = -5/91 \text{ ثانیه}$$

ثانیه ۵/۹۱ — (ثانیه ۲۸/۴۱ و دقیقه ۳) = تعدیل زمان در ساعت ۱۲ گرینچ

ثانیه ۳۴/۳۲ و دقیقه ۳ = تعدیل زمان در ساعت ۱۲ گرینچ

در این ساعت مقدار تعدیل زمان در سایر نقاط دنیا به همین اندازه خواهد بود. در ادامه مطلب، به فرمول شماره (۷-۳) برمی گردیم و آنرا در مثال زیر بکار

می گیریم:

مثال (۷-۵) — وقت شمسی ظاهری در گرینچ را در روز شانزدهم فوریه ۱۹۵۱، در

حالی که ساعت شمسی متوسط در گرینچ ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقه صبح است، محاسبه کنید. مقدار تعدیل زمان در ظهر شمسی متوسط در گرینچ در این تاریخ، منهای ۱۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه و مقدار اضافه شدن آن را در ساعت، ۱ ثانیه بگیرید.

را محل — مقدار تعدیل زمان در ظهر متوسط گرینچ، منهای ۱۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه است و از آنجایی که مقادیر تعدیل زمان در حال اضافه شدن است، لذا مقدار آن در ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقه صبح، کمتر از مقدارش در ظهر است. ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقه صبح در گرینچ، ۱/۵ ساعت زودتر از ظهر متوسط بوقوع می پیوندد و لذا مقدار تغییر

تعدیل زمان در مدت ۱/۵ ساعت، خواهد شد: ثانیه ۱/۵ = (ثانیه ۱) $\times 1/5$

در نتیجه، مقدار تعدیل زمان در ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقه صبح گرینچ، می شود:

$$(8/5 \text{ ثانیه و } 14 \text{ دقیقه}) - (1/5 \text{ ثانیه} - 10 \text{ ثانیه و } 14 \text{ دقیقه}) =$$

با استفاده از فرمول (۷-۳) خواهیم داشت:

$$GAT = GMT + EOT$$

$$GAT = 8/5 \text{ ثانیه و } 14 \text{ دقیقه} - 30 \text{ دقیقه و } 10 \text{ ساعت}$$

$$GAT = 51/5 \text{ ثانیه و } 15 \text{ دقیقه و } 10 \text{ ساعت}$$

که این جواب مسئله است.

روش محاسبه، برای تمام نقاط دیگر دنیا نیز به همین ترتیب است، فقط می‌بایست وقت متوسط گرینویچ در لحظه مورد نظر، محاسبه گردد

علاوه بر جداول نجومی، تعداد زیادی از کشورها، جداولی را برای استفاده نقشه‌برداران و دریانوردان به چاپ می‌رسانند که می‌توان مقادیر تعدیل زمان را از آنها نیز استخراج کرد. در جداول نجومی ساده‌تر که فقط مربوط به خورشید، ستاره قطبی و بعضی ستارگان انتخاب شده دیگر است، مقادیر تعدیل زمان نیز داده می‌شود.

۱۳. وقت استاندارد^۱

در بحثی که در بخشهای (۷-۷) و (۷-۱۰) بعمل آمد، نامناسب بودن وقت محلی تشریح شد. لحظه‌ای که خورشید به نصف النهار یک ناظر می‌رسد، به طول جغرافیایی ناظر، بستگی دارد. چون زمین در ۲۴ ساعت یکبار به دور خود یعنی ۳۶۰ درجه، می‌گردد، لذا تفاوت وقت محلی برای دو نقطه با اختلاف طول جغرافیایی ۱۵ درجه، برابر یکساعت می‌باشد و وقت، برای محل‌های واقع در مشرق ناظر، جلوتر است. قبل از عصر تلگراف و راه‌آهن، مسئله تفاوت وقت محلی، از محلی به محل دیگر، بسیار مهم نبود و فقط بعنوان مسئله‌ای جزئی قلمداد می‌شد. سرعت مسافرت، آرام بود و میزان لازم تصحیح وقت—به وقت محل جدید—زیاد نمی‌شد. تا قرن نوزدهم، وقت محلی، مبنای سنجش زمان در هر مکانی بود، اما رشد وسایل حمل و نقل، با سرعت زیاد و ارتباطات، نامناسب بودن سنجش وقت توسط زمان محلی را آشکار ساخت. به همین سبب در یک کنفرانس بین‌المللی در سال ۱۸۸۴، نصف النهار گرینویچ در انگلستان، بعنوان نصف النهار مبداء، در سنجش طول جغرافیایی، در نظر گرفته شد، و جهان به ۲۴ منطقه وقت استاندارد^۲ تقسیم گشت. علت انتخاب ۲۴ منطقه، بسبب چرخش ۱۵ درجه‌ای زمین در ساعت است ($24 = 360 \div 15$). در این طبقه‌بندی، وقت هر منطقه، یکساعت از وقت مناطق همسایه جلوتر و یا عقب‌تر است و تمام محل‌های واقع در یک منطقه، وقتی مشابه را بکار می‌گیرند که مربوط به وقت نصف النهار مرکزی منطقه است.

برای مثال، وقت شمسی متوسط منطقه وقت استاندارد در گرینویچ، بر روی مدار صفر درجه استوار است و منطقه وقت، از ۷/۵ درجه غربی تا ۷/۵ درجه شرقی امتداد

دارد. مناطق وقت استاندارد پشت سر هم واقع در مشرق نصف النهار گرینیچ، دارای وقتی جلوتر از وقت منطقه وقت استاندارد گرینیچ، به ازای یک ساعت برای هر ۱۵ درجه طول جغرافیایی است. بنابراین در طول جغرافیایی ۴۵ درجه شرقی، وقت، سه ساعت ($3 = 15 \div 45$) از وقت گرینیچ جلوتر است و وقتی که در گرینیچ ساعت ۱۲ ظهر است، در طول جغرافیایی ۴۵ درجه شرقی، وقت ۳ بعد از ظهر است. مناطق وقت استاندارد واقع در مغرب نصف النهار گرینیچ دارای وقتی عقبتر از وقت گرینیچ بازای یک ساعت برای هر ۱۵ درجه طول جغرافیایی است.

منطقه وقت استاندارد در گرینیچ با وقت صفر ساعت و مناطق وقت استاندارد واقع در مشرق آن با وقتیهای (۱-) ساعت، (۲-) ساعت، (۳-) ساعت و غیره... و همچنین مناطق وقت استاندارد واقع در مغرب گرینیچ با وقتیهای (۱+) ساعت، (۲+) ساعت، (۳+) ساعت و غیره... مشخص می شوند. مناطق وقت استاندارد پشت سر هم، در نیم کره مقابل در خط بین المللی تاریخ^۱، بهم می رسند که در آن، منطقه وقت استاندارد واقع در مغرب خط، منطقه (۱۲-) ساعت و منطقه وقت واقع در مشرق خط، منطقه (۱۲+) ساعت است. در خط بین المللی تاریخ، شخصی که از جهت مشرق بطرف مغرب، خط را قطع می کند، یک روز را از دست می دهد و یا عبارت دیگر باید تاریخ مورد احتساب خود را یک روز به جلو بکشد، مثلاً اگر قبل از عبور از خط، یکشنبه بوده است، بعد از عبور از خط برای او دوشنبه است. برعکس شخصی که از جهت مغرب بطرف مشرق، خط را قطع می کند، یک روز، بدست می آورد. خط بین المللی تاریخ، در سطح بین المللی شناخته شده و در اقیانوس آرام قرار دارد. بطور کلی این خط، در امتداد نصف النهار 180° است، اما برای راحت بودن کاربرد آن، خط فقط از دریا عبور می کند و خشکیها را شامل نمی شود. کشتیها در عبور از نصف النهار 180° بطرف مشرق، یک روز از تاریخ کم و آنهایی که بطرف مغرب می روند یک روز به تاریخ اضافه می کنند.

نصف النهار مرکزی منطقه وقت استاندارد^۲، که وقت منطقه بر آن استوار است، نصف النهار استاندارد^۳ نامیده می شود و وقتی که بر مبنای نصف النهار استاندارد در نظر گرفته می شود، وقت استاندارد^۴ نام دارد.

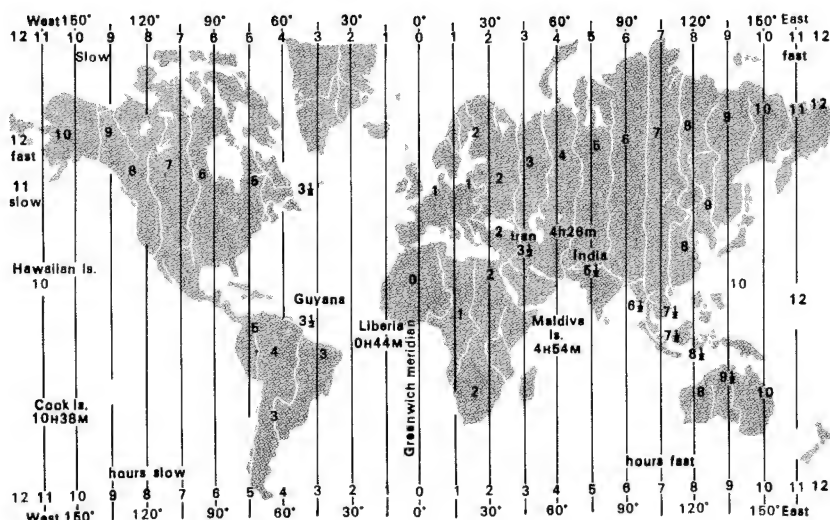
با توجه به تعریف منطقه وقت استاندارد، می بایست حدود هر منطقه را یک نصف النهار معین، از قطب شمال تا قطب جنوب فرا گیرد، اما تعداد کمی از مناطق

1. International Date Line

2. Central Meridian of the Standard Zone

3. Standard Meridian

4. Standard Time



شکل (۷-۱۳) — مناطق وقت استاندارد در دنیا. وقت استاندارد ایران ۳/۵ ساعت و با مربوط به نصف النهار استاندارد ۵۲/۵ درجه غربی است.

وقت استاندارد دارای چنین حدودی هستند و بعلت ملاحظات سیاسی و اقتصادی، حدود مناطق وقت استاندارد طوری انتخاب شده است که مناسب همه کشورها باشد. تعداد کمی از کشورها از روش تعیین وقت با توجه به نصف النهار محل استفاده می کنند و روش جدید مناطق وقت استاندارد را، بکار نبرده اند، در بعضی از کشورها نیز بجای یک ساعت کامل، از نصف ساعت استفاده شده، مثلاً نصف النهار استاندارد مربوط به وقت استاندارد ایران، ۵۲/۵ درجه غربی (۳/۵ ساعت) است. مناطق وقت استاندارد دنیا، در شکل (۷-۱۳)، نمایانده شده است.

بعنوان مثال نصف النهارهای استاندارد، که مبنای وقت استانداردند، برای چند کشور، در ذیل می‌آید:

کشور	طول جغرافیایی نصف النهار استاندارد	
	ساعت	درجه
انگلستان	۰ دقیقه و ۰ ساعت	۰
هند	شرقی ۳۰ دقیقه و ۵ ساعت	۸۲/۵ شرقی
مناطق مرکزی آمریکا	غربی ۰ دقیقه و ۶ ساعت	۹۰ غربی
آلمان	شرقی ۰ دقیقه و ۱ ساعت	۱۵ شرقی
ایران	شرقی ۳۰ دقیقه و ۳ ساعت	۵۲/۵ شرقی

۱۴. وقت جهانی^۱

وقت شمسی متوسط گرینیچ^۲، در بسیاری از موارد علمی و فنی به منظور هماهنگی بکار گرفته می‌شود. کاربرد وقت شمسی متوسط گرینیچ، در نقاط دیگر را اصطلاحاً وقت جهانی می‌نامند که بطور خلاصه با حروف (UT) نشان داده می‌شود، اما گاهی با اصطلاح وقت متوسط گرینیچ^۳ و یا با حروف (GMT) نیز مشخص می‌شود. وقت جهانی در موارد اندازه‌گیری مبداء زمانی، در سطح وسیعی بکار گرفته می‌شود، مثلاً در ارتباطات جهانی و برنامه پروازهای هوایی مورد عمل بوده و گاهی با حرف «Z» مشخص می‌شود. در رصدهای نجومی که در رصدخانه‌های مختلف صورت می‌گیرد، با توجه به عبور ستاره، اول وقت جهانی (UT) بصورت (UTO) تعیین می‌شود. اما این فرم زمان جهانی، هنوز با توجه به یک موافقتنامه بین المللی، نیازمند تصحیحات جزئی است. UTO، به منظور تغییرات کم طول جغرافیایی در اثر حرکت قطبی^۴، به UT1 تصحیح می‌گردد. UT1 به نوبه خود برای تصحیحات مورد لزوم ناشی از تغییرات فصلی در سرعت حرکت دورانی زمین، به UT2 تصحیح می‌شود. در حقیقت تفاوت بین UTO، UT1 و UT2 بسیار اندک است و معمولاً کمتر از ۰/۰۵ ثانیه می‌باشد. وقت جهانی هماهنگ شده (UTC)، بر مبنای ساعتهای اتمی، که طوری

1. Universal Time
2. The Mean solar Time of Greenwich
3. Greenwich Mean Time (GMT)
4. Polar Motion
5. Coordinated Universal Time

میزان می‌شوند که تا در اندازه‌گیری مبداء زمانی نزدیک به (UT2) باشند، تا حد ۰/۵ ثانیه بدست می‌آید. وقت جهانی هماهنگ شده، سالی یک بار میزان می‌شود و در سطح وسیعی توسط علائم رادیویی در دنیا، پخش می‌گردد و این علائم، به نوبه خود، برای میزان کردن ساعتها بکار گرفته می‌شوند.

۱۵. نامگذاری و اصطلاحات مربوط به در زندگی روزمره

در زندگی روزمره، اصطلاحات مختلفی در مورد وقت، بکار گرفته می‌شود. در بعضی از کشورها، اوقات و ساعت‌های بین نصف شب و ظهر را با حروف A. M. مشخص می‌کنند. اما اصطلاحات 12 A.M. و یا 12 p. M. را نباید بکار برد چه، تولید اشتباه می‌کند. اصطلاح ۱۲ ظهر^۱، واضح است و فقط به یک وقت معین در ظهر، مربوط می‌شود، اما ساعت ۱۲ نصف شب^۲ مربوط به وقت مشخصی نیست، زیرا برای مثال ممکن است منظور ساعت ۱۲ شب روز ۹-۱۰ ماه ژوئن و یا روز ۱۱-۱۰ ماه ژوئن باشد. لذا بجای ساعت ۱۲ نصف شب، اصطلاح نصف شب ۹-۱۰ ژوئن^۳ بکار می‌رود.

برای رفع هرگونه اشکالی، در وقت‌های نظامی روش نامگذاری ۲۴ ساعته مورد استفاده قرار می‌گیرد. وقت توسط یک عدد چهاررقمی بیان می‌شود که دو رقم اول آن مربوط به ساعت و دو رقم بعدی مربوط به دقیقه است. شروع روز در نصف شب در ساعت 0000 و آخرین دقیقه روز در ساعت 23:59 است. کلمه ساعت بعد از عدد چهاررقمی آورده نمی‌شود. بنابراین 0830 به معنای 8:30 A. M. و 2315 به معنای 11:15 P. M. است. در اینجا عدد 2400 در دهم ماه ژوئن^۴ با عدد 0000 در یازدهم ماه ژوئن^۵ مشخص کننده یک وقت‌اند. روش تقسیم ۲۴ ساعته روز در قاره اروپا بکار رفته و اوقات برنامه‌های پروازها در دنیا بر این مبناست.

۱۶. تبدیل وقت شمسی ظاهری محلی به وقت شمسی استاندارد

تابعال با توجه به فرمول (۷-۳)، روش تبدیل وقت ظاهری محلی (LAT) به وقت متوسط محلی (LMT) را دریاخته‌ایم. بنابراین برای تبدیل وقت استاندارد^۶

- | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------------|
| 1. Twelve Noon | 2. Twelve Midnight | 3. Midnight of June 9-10 |
| 4. 2400 of 10 June | 5. 0000 of 11 June | 6. Standard Time (ST) |

(ST) به وقت ظاهری محلی، لازم است ابتدا وقت متوسط استاندارد را به وقت متوسط محلی تبدیل کرده، سپس با استفاده از فرمول (۷-۳)، آن را به وقت ظاهری محلی تبدیل کنیم.

اختلاف بین وقت استاندارد و وقت متوسط محلی در یک محل، برابر اختلاف طول جغرافیایی محل و طول جغرافیایی نصف النهار استاندارد است. اگر نصف النهار محل در مشرق نصف النهار استاندارد باشد، خورشید در حرکت روزانه ظاهری خود از مشرق به مغرب، اول بار از نصف النهار محل عبور می کند و در نتیجه، وقت محلی، از وقت استاندارد جلوتر است. همچنین اگر نصف النهار محل در مغرب نصف النهار استاندارد باشد، خورشید ابتدا از نصف النهار استاندارد عبور می کند و لذا وقت استاندارد، جلوتر از وقت محلی است. قبلاً هم گفته شده که هر ۱۵ درجه طول جغرافیایی برابر یک ساعت و هریک درجه، برابر چهار دقیقه زمانی است، لذا بسادگی می توان رابطه زیر را بین وقت متوسط محلی (LMT) و وقت استاندارد (ST) نوشت:

$$LMT = ST \pm LA \left(\frac{E}{W} \right) \quad (7-5)$$

LA عبارت مربوط به تصحیح طول جغرافیایی^۱ است و خود از رابطه زیر بدست می آید:

$$LA = 4 \quad (7-6) \quad (\text{طول جغرافیایی محل} - \text{طول جغرافیایی نصف النهار استاندارد})$$

در فرمول (۷-۵) علامت LA، در صورتی که نصف النهار محل در مشرق نصف النهار استاندارد باشد، مثبت (+) و در صورتی که در مغرب نصف النهار استاندارد باشد، منفی (-) است و عبارت $\pm \frac{E}{W}$ نیز به همین معنی است. از ادغام فرمولهای (۷-۳) و (۷-۵) فرمول زیر بدست می آید که می توان آن را برای تبدیل وقت ظاهری محلی به وقت استاندارد، بکار برد:

$$LAT = ST + EOT \pm LA \left(\frac{E}{W} \right) \quad (7-7)$$

در این فرمول، تصحیح مربوط به تغییر وقت، که معمولاً در ماه مارس یا آوریل، وقت، به مدت یک ساعت جلو کشیده می شود و دوباره در ماه سپتامبر یا اکتبر به وقت طبیعی برگردانده می شود، منظور نشده است. این فرمول همان فرمولی است که تحت شماره (۱-۳) در فصل اول کتاب آورده شده است. در ادامه مطلب، چگونگی استفاده از فرمول، در طی یک مثال، نشان داده می شود.

مثال (۷-۵) — تعیین کنید که در روز ۲۲ مهرماه (چهاردهم اکتبر)، در محلی در تهران با طول جغرافیایی 51° و $25'$ و $39''$ شرقی، ظهر شمسی ظاهری در چه ساعتی است.

راه حل — وقتی که ظهر شمسی ظاهری است، خورشید واقعی از نصف النهار محل عبور کرده و ساعت شمسی ظاهری محلی، ساعت ۱۲ ظهر است ($LAT = 12$). نصف النهار استاندارد وقت استاندارد ایران، $52^{\circ}5'$ درجه شرقی است و نصف النهار محل مورد نظر ($4275/51^{\circ}$ شرقی) در مغرب نصف النهار استاندارد است، پس خواهیم داشت:

$$LAT = ST + EOT - LA$$

$$LA = 4(52^{\circ}5' - 51^{\circ}/4275) = 4/29 \text{ دقیقه}$$

تعدیل زمان در چهاردهم ماه اکتبر با استفاده از جدول (۷-۳)، برابر (۴۷ ثانیه و ۱۳ دقیقه) + و یا (۱۳/۷۸۳۳۳۳ + دقیقه) است، پس خواهیم داشت:

$$12 = ST + 13/783333 - 4/29$$

$$ST = 11 \text{ ساعت و } 50/50667 \text{ دقیقه}$$

$$ST = 11 \text{ ساعت و } 50 \text{ دقیقه و } 30/40 \text{ ثانیه}$$

بنابراین در روز ۲۲ مهرماه، خورشید در ساعت ۱۱ و ۵۰ دقیقه و $30/40$ ثانیه قبل از ظهر از نصف النهار محل مورد نظر در تهران عبور می کند.

چنانکه قبلاً هم توضیح داده شده، لحظه عبور خورشید از نصف النهار محل، همان ظهر شرعی است و لذا مثال مذکور، روش محاسبه ظهر شرعی را نیز نشان می دهد.

۱۷. جلو بردن ساعت به منظور استفاده بیشتر از روشنایی روز

تعداد زیادی از کشورها وقت خود را در ماههای تابستان بانداژه یک ساعت به جلو می برند، مثلاً ساعت ۶ صبح (6 A.M.)، مبدل به ساعت ۷ صبح می شود (7 A.M.). این عمل، باعث می گردد که یک ساعت از روشنایی ساعات اولیه روز، که کمتر مورد استفاده است، به ساعات آخر روز، که بیشتر مورد استفاده است، منتقل

گردد. این کار عملاً در مناطق شهری موجب صرفه جویی است، چه، تولید کنندگان و کارخانه ها در مصرف برق صرفه جویی می کنند و در منازل از روشنایی ساعات غروب خورشید استفاده می شود. البته این روش در کشورهای شمالی که طبیعتاً دارای روزهای بلند و شبهای کوتاه هستند و یا در مناطق حاره که طول شب و روز تقریباً برابر می باشد، فایده زیادی ندارد. در کشورهایی که ساعت، به جلو برده می شود، باید بخاطر داشت که آنچه را که ساعت نشان می دهد، یکساعت جلوتر از وقت واقعی است، و لذا هنگامی که فرمول (V-V) به منظور محاسبه وقت ظاهری محلی (LAT) بکار برده می شود، می بایست در مقدار وقت استاندارد (ST) تصحیح لازم صورت گیرد.

شکل زمین

شکل زمین تقریباً کروی است و به منظور ساده تر کردن محاسبات ریاضی، آن را به شکل کره کامل فرض می کنند. در بیشتر روشهای تعیین جهت قبله، که در فصل پنجم مورد بحث قرار گرفت، شکل زمین کاملاً کروی فرض می شد. این تصور، موجب شد که با کاربرد فرمولهای مثلثات کروی، حل مسئله، کاملاً آسان شود. اما زمانی که تعیین جهت قبله از راه امتداد سایه یک شیء قائم در تاریخهای معین صورت می گیرد، توجه به شکل واقعی کره زمین بسیار اهمیت پیدا می کند. این مطلب با مطالعه مختصری در علم زمین پیمایی^۱ (ژئودزی)، روشنتر می شود.

ژئودزی رشته ای از علوم است که در آن، درباره تعیین شکل ریاضی سیاره زمین، ابعاد و میدان گرانشی^۲ آن، بحث می شود. در این فصل، منظور، پرداختن به علم زمین پیمایی نیست و فقط پاره ای از مباحث آن بصورت مختصر شرح داده می شود.

۱. کره^۳

کره، سطح مسدودی است که تمام نقاط واقع بر روی آن، از نقطه ای به نام مرکز، دارای فواصل مساوی است، که این فاصله مساوی را شعاع کره، نامند. فصل مشترک هر صفحه مسطحی با کره، یک دایره است. فصل مشترک هر صفحه مسطحی، که از مرکز کره بگذرد، با کره، یک دایره عظیمه^۴ است.

۲. بیضوی^۱

بیضوی سطح مسدودی است که مقطع سطح آن در تمام جهات، بیضی باشد؛ این بدان معنی است که فصل مشترک هر صفحه^۲ سطح با بیضوی، یک بیضی است. در علم زمین پیمایی، معمولاً بین انواع مختلف بیضوی از قبیل بیضوی دوار^۳ یا بیضوی دو محوره^۴ و بیضوی سه محوره^۵ وجه تمایز وجود دارد. بیضوی سه محوره، یک بیضوی است که طول سه محور اصلی آن، مختلف باشد.

۳. شبه کره^۶

سطح مسدودی که از دوران یک بیضی، حول یکی از محورهای اصلی (قطرهای آن)، بدست می آید، شبه کره نامیده می شود. همچنین شبه کره را بیضوی دوار^۷ نیز می نامند. شبه کره در حقیقت یک بیضوی است که دو محور از سه محور اصلی آن برابر است و به همین جهت، آن را بیضوی دو محوره می نامند. اگر محور دوران، قطر اطول بیضی باشد، شبه کره را، شبه کره کشیده^۸ و در صورتیکه قطر اقصر آن باشد، شبه کره را، شبه کره پخت^۹ نامند. یک بیضوی پخت دارای مشخصات زیر است:

۱. بجز صفحات مسطحی که بر محور دورانی^{۱۰} (محور اقصر)^{۱۱} بیضوی پخت عمودند، فصل مشترک هر صفحه^{۱۲} سطح دیگری با آن، یک بیضی است. فصل مشترک صفحات مسطح عمود بر محور دورانی، دایره ای است.
۲. چنانکه محور کوچکتر یک بیضوی پخت را محور قطبی^{۱۳} و محور بزرگتر آن را، محور استوایی^{۱۴} بنامیم، سطح مقطع صفحات مسطحی که از محور قطبی می گذرند، با بیضوی پخت، یک بیضی است که قطر بزرگتر آن قطر استوایی^{۱۵} و قطر کوچکتر آن قطر قطبی^{۱۶} است. معمولاً بیضوی پخت را با طول نصف قطر اطول^{۱۷} (a) و یکی از روابط زیر

- | | | |
|-------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 1. Ellipsoid | 2. Rotational Ellipsoid | 3. Biaxial Ellipsoid |
| 4. Triaxial Ellipsoid | 5. Spheroid | 6. Ellipsoid of Revolution |
| 7. Prolate Ellipsoid | 8. Oblate (Flattened) Spheroid | 9. Rotation Axis |
| 10. Minor Axis | 11. Polar Axis | 12. Equatorial Axis |
| 13. Equatorial Diameter | 14. Polar Diameter | 15. Semimajor Axis |

مشخص می کنند:

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (۸-۱)$$

که در آن (f)، فشردگی^۱ بیضوی و (b) نصف قطر اقصر^۲ است.

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} \quad (۸-۲)$$

که (e) خروج از مرکز اولیه^۳ است.

$$e' = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}} \quad (۸-۳)$$

که (e') خروج از مرکز ثانویه^۴ است.

۴. تاریخچه شکل زمین

اولین تصور بشر از زمین، یک سطح مسطح محکم، واقع در مرکز عالم بوده است. خورشید، ماه، سیارات و ستارگان، در حال چرخش به دور این سطح مسطح بنظر می رسیدند.

اولین متفکری که از نظریه کروی شکل بودن زمین دفاع کرده پارمندیز^۵، یک یونانی در قرن پنجم قبل از میلاد از اهالی ایلیا^۶ (شهری در جنوب غربی یونان قدیم) بوده است. فیثاغورث^۷ و افلاطون^۸ نیز گرد بودن زمین را اظهار کرده اند و ارسطو^۹ دلایل قانع کننده ای برای گرد بودن آن ارائه کرده است.

ارسطو خاطر نشان ساخت که چون لبه سایه زمین بر روی ماه، بهنگام ماه گرفتگی، گرد است، لذا زمین گرد است. او همچنین اظهار داشت که مردم نقاط مختلف، ستارگان مختلفی را در آسمان مشاهده می کنند و این نمی تواند در مورد یک زمین مسطح مصداق داشته باشد و فقط در صورت گرد بودن زمین این مطلب، ممکن می گردد.

بعد از ارسطو، دانشمند سرشناسی، کروی شکل بودن زمین را انکار نکرده است. یک افسانه بی اساس در مورد سفر کلمبوس^{۱۰} وجود دارد که او سفر مشهور خود را در

1. Flattening

2. Semiminor Axis

3. First Eccentricity

4. Second Eccentricity

5. Parmendies

6. Elea

7. Pythagoras

8. Plato

9. Aristotle

10. Columbus

سال ۱۴۹۲ به منظور ثابت کردن گردی زمین انجام داد.

نخستین تغییر در تصورات راجع به شکل زمین از کشف انجام شده توسط ژان ریچر^۱، یک منجم فرانسوی، حاصل شد. ریچر کشف کرد که دوره نوسان یک پاندول ساده از یک عرض جغرافیایی به یک عرض جغرافیایی دیگر، تغییر می کند.

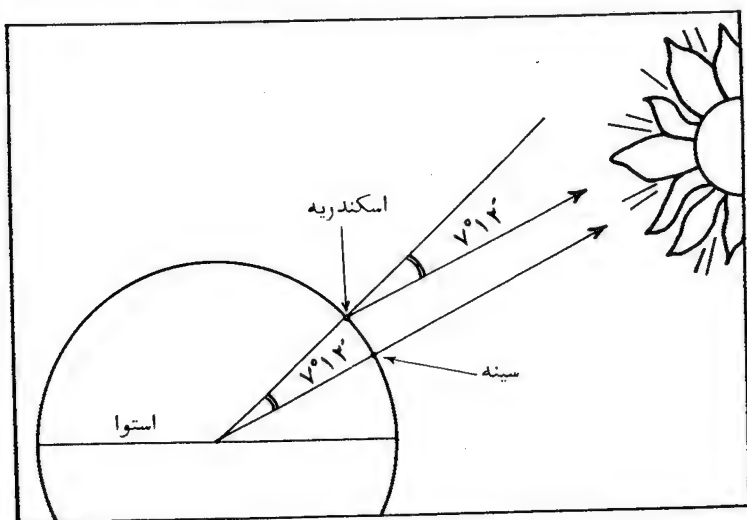
اسحق نیوتن^۲ در اثر خود به نام *پرنسیپیا*^۳، (در سال ۱۶۸۷)، کشف ریچر را چنین توجیه کرد که شکل زمین یک شبه کره پخت دوار^۴ است، بدین ترتیب که در قطبها فشرده و پخت و در نواحی استوایی برجسته است. به عقیده نیوتن چنین شکلی نتیجه حرکت دورانی زمین حول محورش بوده که نیروی گریز از مرکز بر روی ذرات، موجب برآمدگی ناحیه استوایی شده است. از این مطلب چنین نتیجه شد که گرانش در سطح زمین^۵ (و دوره نوسان یک پاندول) از ناحیه استوایی، به طرف قطبها، باندازه ضریب $\frac{۲}{۲۸۹}$ که توسط نیوتن محاسبه شد، افزایش می یابد.

گرچه فیلسوفان قبلی، نتیجه گیری کرده بودند که زمین به شکل کره است، اما نخستین تلاش شناخته شده در اندازه گیری اندازه زمین، توسط ارسطو در قرن چهارم قبل از میلاد گزارش شده است. اندازه ای که ارسطو برای محیط زمین داده است $\frac{۴۰۰,۰۰۰}{-}$ استادیای^۶ است. — استادیای^۷ یا استادیومز^۸ جمع کلمه استادیوم^۹ است. — استادیوم هر یک از واحدهای مختلف طول در یونان باستان است که طول آن برابر ۶۰۷ تا ۷۳۸ فوت انگلیسی^{۱۰} و یا برابر اندازه های متغیر دیگر است. قطر زمین با توجه به اندازه داده شده توسط ارسطو، در حدود ۱۲,۴۶۱ مایل (۲۰,۰۵۴ کیلومتر) می شده است که اندازه واقعی آن ۷,۹۳۰ مایل (۱۲,۷۶۲ کیلومتر) است.

در ۲۵۰ سال قبل از میلاد، یک یونانی اهل اسکندریه^{۱۱} به نام اراتوس تنز^{۱۲}، علم هندسه را در اندازه گیری ابعاد کلی زمین بکار گرفت. اراتوس تنز (۲۷۶-۱۹۵ قبل از میلاد) یک منجم، ریاضی دان، جغرافی دان، فیلسوف و شاعر یونانی بود که بخاطر اندازه گیری استادانه^{۱۳} محیط زمین بخوبی شناخته شده است. در سینه^{۱۴} (آسوان^{۱۵} فعلی)، که یک شهر در مصر، در قسمت بالای رود نیل است، در حدود ۵,۰۰۰ استادیای (۵۰۰ مایل) بطرف جنوب اسکندریه^{۱۶}، یک چاه عمیق خشک وجود داشت. اراتوس تنز

- | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| 1. Jean Richer | 2. Isaac Newton | 3. Principia |
| 4. Oblate Spheroid of Rotation | 5. The gravity at the earth's surface | |
| 6. Stadia | 7. Stadiums | 8. Stadium |
| | | 9. English Foot |
| 10. Alexandrian Greek | 11. Eratosthenes | 12. Syene |
| | | 13. Aswan |
| | | 14. Alexandria |

دریافته بود که در روز انقلاب تابستانی، اشعه نور خورشید، در محل چاه، کاملاً بصورت عمودی تابیده و ته چاه را روشن می‌کند؛ این بدان معنی است که خورشید در آن روز در سینه کاملاً در سمت الرأس و یا بالای سر قرار داشته‌است. در اسکندریه در همان روز، اشعه نور خورشید در ظهر بصورت قائم نمی‌تابید و اشیاء قائم دارای سایه بودند. او، زاویه بین اشعه نور خورشید و امتداد قائم را در اسکندریه، در روز انقلاب تابستانی اندازه‌گیری کرد. با توجه به دور بودن خورشید از زمین، تمام اشعه نور خورشید بصورت موازی به زمین می‌رسند و با فرض اینکه سینه و اسکندریه بر روی یک نصف‌النهار واقعند، او توانست با کاربرد روابط ساده هندسی، دریابد که اختلاف زاویه بین سینه و اسکندریه در حدود $\frac{1}{8}$ محیط یک دایره یعنی 7° و $12'$ دقیقه می‌باشد که نمایانگر اختلاف عرض جغرافیایی بین دو محل است، شکل (۸-۱). فاصله مستقیم بین دو محل که از اندازه‌گیری مستقیم بدست آمد در حدود ۵۰۰۰۰ استادیا بود که نمایانگر $\frac{1}{5}$ محیط زمین می‌شد. به ۲۵۰۰۰۰ استادیای بدست آمده برای محیط زمین، حدود ۲۰۰۰ استادیا، برای جبران اشتباهات، اضافه کرد و رقم ۲۵۲۰۰۰ استادیا را بدست



شکل (۸-۱) — چگونگی محاسبه محیط زمین توسط اراتوس تنز. او، دریافت که در ظهر روز انقلاب تابستانی در سینه، خورشید کاملاً از بالای سر می‌تابید، اما در اسکندریه به فاصله ۵۰۰ مایلی (۸۰۰ کیلومتری) در شمال سینه، امتداد اشعه موازی خورشید با امتداد قائم در آنجا، زاویه 7° و $12'$ می‌ساخت. از این مطلب او قطر زمین را در حدود ۷۸۰۰ مایل (۱۲۷۳۰ کیلومتر) محاسبه کرد.

آورد. این رقم، محتملاً برابر ۲۴،۵۰۰ مایل و یا حدود ۴۰،۰۰۰ کیلومتر است. روش اراتوس تنز، کاملاً از نظر تئوری صحیح است. اما معادل امروزی یک استادیوم، قضاوت در دقت اندازه گیری او را مشکل می کند.

نتیجه اندازه گیری اسکندریه، به طریقی فراموش و یا گم شد. تا اینکه کلمبوس در ۱۷۰۰ سال بعد، مسافرت خود به دور زمین و بسوی مغرب را آغاز کرد تا به هند- شرقی^۱ برسد، اما او زمین کوچکتری را در مدّ نظر داشت. علی رغم آنچه که در افسانه است، کلمبوس مانند هر ناخدای هم زمان خود می دانست که زمین کروی است، اما آنچه که او نمی دانست، اندازه واقعی کره زمین و یا نتیجه اندازه گیری اراتوس تنز بود که در قرن شانزدهم، با دریانوردی به دور زمین، دوباره مسجل شد.

در عهد رنسانس^۲ مهمترین اندازه گیری زمین توسط منجم فرانسوی، ژان فرنل^۳ در قرن شانزدهم صورت گرفت، نتیجه کار او تا حدود ۸۰ مایل (۱۲۸ کیلومتر) اندازه واقعی بود. در روش او و سایر اندازه گیریهای دیگر، طول یک قسمت از یک نصف- النهار بین دو محل، اندازه گیری می شد و سپس با تعیین عرض جغرافیایی ابتدا و انتهای قطعه نصف النهار، از راه رصد های نجومی، محیط زمین محاسبه می شد. قرنهای قبل از رنسانس و در دوران درخشان تمدن اسلامی، اندازه گیریهای به منظور تعیین طول شعاع زمین صورت گرفته است.

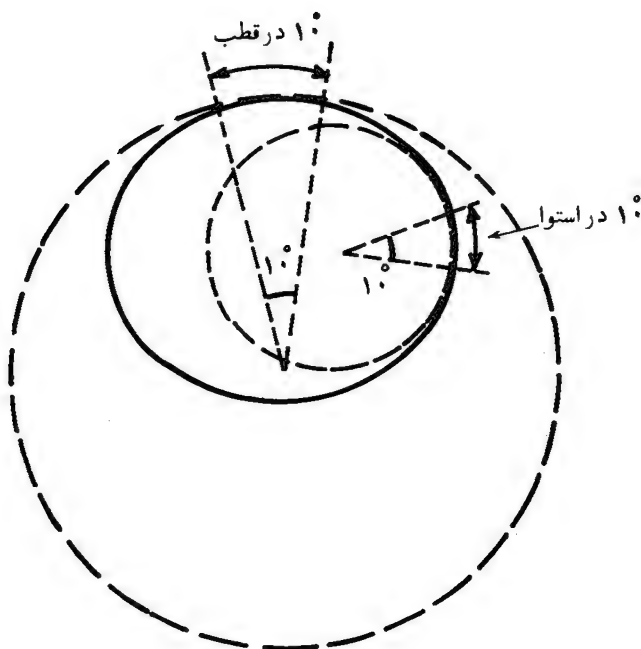
در قرن هفدهم، روش استاندارد اندازه گیری، تعیین طول یک درجه از نصف- النهار بر حسب مایل بود که سپس قطر زمین از روی آن محاسبه می شد. تعداد زیادی اندازه گیری با کاربرد این روش صورت گرفت، اما اولین اندازه گیری واقعاً دقیق توسط منجم فرانسوی، ژان پیکارد^۴، صورت پذیرفت. او در سال ۱۶۷۱ در نزدیکی پاریس با دقت چند یارد طول یک درجه نصف النهار را اندازه گرفت.

بعدها چندین سفر ژئودتیکی مهم برای اندازه گیری یک درجه از نصف النهار، در عرضهای جغرافیایی مختلف، صورت گرفت. مهمترین سفر توسط دولت فرانسه و آکادمی علوم پاریس^۵ ترتیب داده شد. یک هیئت، در سال ۱۷۳۵ به پرو^۶ رفت و حدود ده سال را در آنجا گذراندند، هیئت دیگر در سالهای ۱۷۳۶ و ۱۷۳۷ برای اندازه گیریهای مشابه به لاپلند^۷ (منطقه ای در شمال اروپا در بالای مدار قطب شمال^۸

1. Indies (East Indies)
2. Renaissance
3. Jean Frenel
4. Jean Picard
5. Paris Académie des Sciences
6. Peru
7. Lapland (Lappland)
8. Arctic Circle

در کشورهای نروژ^۱، سوئد^۲ و فنلاند^۳ رفت. اندازه یک درجه نصف النهار در لاپلند بزرگتر از اندازه بدست آمده در پرو بود و این خود نظریه نیوتن را در مورد اینکه زمین به شکل یک شبه کره پخت است، تأیید کرد، شکل (۸-۲).

تا پایان قرن هجدهم، اندازه گیریهای ژئودتیکی در اروپا انجام شد. محرک چنین تحقیقاتی مجلس مبعوثان فرانسه^۴، در سال ۱۷۹۱ بود، که تصمیم گرفت یک واحد جدید طول یعنی متر را پیشنهاد کند. از آنجایی که متر بعنوان ده میلیونیم نصف النهار ۹۰ درجه ای تعریف شده بود، لذا تعیین دقیق اندازه زمین امری واجب می نمود. در قرن نوزدهم اندازه گیریهای وسیعی در آسیا، آفریقا و نیم کره غربی^۵ صورت پذیرفت که اطلاعات جامعی را برای اندازه گیری فواصل نقاط دور دست بر روی زمین، با



شکل (۸-۲) — پختی زمین. طول ده درجه از یک نصف النهار، که نمایانگر ده درجه اختلاف در عرض جغرافیایی است، در ناحیه قطبی بیشتر از ناحیه استوایی است. لذا انحنا^۶ زمین، که توسط دایره های خط چین نمایانده شده اند، در استوا بیشتر از قطب است.

- | | | | |
|-----------------------|---------------|--------------|--------------------------------|
| 1. Norway | 2. Sweden | 3. Finland | 4. French Constituent Assembly |
| 5. Western Hemisphere | 6. Oblateness | 7. Curvature | |

تقریب ۲،۰۰۰ فوت (۶۱۰ متر)، بدست داد. در سال ۱۸۸۶، ژئودزیست^۱ انگلیسی به نام الکساندر کلارک^۲ شکل زمین را بعنوان شبه کره‌ای پخت با ابعاد زیر، پیشنهاد کرد:

نصف قطر اطول، ۳۹۶۳/۲۶۶ مایل (۶،۳۷۸/۲۸۲ کیلومتر)،
نصف قطر اقصر، ۳،۹۴۹/۷۹۰ مایل (۶،۳۵۶/۵۹۴ کیلومتر) و

$$\frac{1}{294/1723063} \quad \text{درجه فشردگی}$$

در سالهای بعد از کار الکساندر کلارک، پیشرفت وسایل اندازه‌گیری و روشها، تعیین دقیقتر شکل و اندازه زمین را ممکن ساخت.

امروزه با کمک اطلاعات بدست آمده در سال بین‌المللی جغرافیایی^۳ (۱۹۵۸-۱۹۵۷)، اطلاعات دقیقی راجع به ابعاد زمین در دسترس است.

چنانکه قبلاً توضیح داده شد زمین دوار به شکل یک شبه کره پخت درآمده است. بنابراین یک بیضوی دوار بهتر از یک کره می‌تواند نمایانگر شکل زمین باشد، اگرچه چنین بیضوی خود یک سطح ریاضی کاملی است.

پارامترهای بهترین بیضوی دواری که می‌تواند نمایانگر شکل زمین باشد، به نام بیضوی مبنا، توسط انجمن بین‌المللی ژئودزی^۴ در سال ۱۹۶۷، به شرح زیر تعیین شد:

نیم‌قطر اطول (a)، ۳،۹۶۳/۱۹۷ مایل (۶،۳۷۸/۱۶۰ کیلومتر)،
نیم‌قطر اقصر (b)، ۳،۹۴۹/۹۰۹ مایل (۶،۳۵۶/۷۷۴ کیلومتر) و

$$\frac{1}{298/2471674} \quad \text{فشردگی (f) و یا } \left(\frac{a-b}{a}\right) \text{ برابر}$$

چنین بنظر می‌رسد که این ارقام تا رقم ششم دقیق باشد.

با توجه به این ارقام، اندازه قطر زمین در استوا، ۲۶/۵۷۶ مایل از اندازه آن از قطب به قطب، بیشتر است.

حتی اندازه‌گیریهای دقیقتر، که توسط قمر مصنوعی آمریکایی وانگاردیک^۵ صورت گرفته، چنین نشان داده است که برجستگی استوایی، دقیقاً متقارن نیست و بلندترین نقطه آن (کم و بیش در حدود ۲۵ فوت) کمی در جنوب خط میانی استوایی^۶ قرار دارد.

1. Geodesist
2. Alexander Clarke
3. Degree of Flattening
4. International Geographical Year
5. Reference Ellipsoid
6. International Association of Geodesy
7. IGY Vanguard I Satellite
8. Equatorial Mid-Line

در اثر اندازه‌گیریهای دقیقتر، عده‌ای از نویسندگان، شکل شبه کره پخت را برای زمین، فراموش کرده و بجای آن، شباهتی مانند شکل گلابی^۱ را ذکر کرده‌اند.

برای تصور اختلاف بین قطر زمین در استوا و از قطب به قطب، می‌توان مقیاس کوچکتری را در نظر گرفت. چنانکه ابعاد زمین را تا حدی کوچک کنیم که قطر آن ۵ فوت باشد، چشم انسان قادر به تشخیص اختلاف طول، بین دو قطر آن که در حدود $\frac{1}{5}$ اینچ می‌شود، نخواهد بود. بر روی چنین کره کوچکی، چشم دیگر قادر به تشخیص ارتفاعات نیست و بعبارتی دیگر چنانکه سطح چنین کره‌ای را رنگ کنیم. پستی و بلندیهایی بسیار کوچک رنگ، در مقیاس خود از پستی و بلندیهایی زمین بزرگتر خواهند بود.

سوراخ کوچکی که توسط یک سوزن بر سطح چنین کره‌ای ایجاد شود، در مقیاس خود عمیقتر از هر گونه حفاریهای انجام شده بر سطح زمین است.

۵. سطوح مبنای ژئودتیک^۲

وضعیت یک نقطه بر روی زمین، بنحوی که توسط سازندگان نقشه، تفسیر می‌شود، عبارت از وضعیت نقطه نسبت به یک سطح مبناست؛ چنانکه در رسم نقشه مرسوم است، سطح مبنا بعنوان جایگزین سطح واقعی زمین انتخاب می‌شود.

مهمترین سطوح مبنا که معمولاً بکار می‌روند عبارتند از، کره، شبه کره و شکل زمین‌گون^۳ است. وضعیت یک نقطه، معمولاً توسط مختصات مانند عرض، طول و ارتفاع نسبت به سطح مبنا، تعریف می‌شود. اغلب، بین مختصات کروی^۴، مختصات ژئودتیک^۵ و مختصات نجومی^۶ که سطح مبنای آنها به ترتیب کره، شبه کره و شکل زمین‌گون است، تفاوت وجود دارد. با توجه به این تفسیر، مختصات جغرافیایی^۷، یک اصطلاح کلی است و شامل هر سه نوع مختصات ذکر شده است.

۱-۵. مختصات کروی—در فصل اول کتاب، مختصات کروی، مورد استفاده قرار گرفته است، اما در اینجا این نوع مختصات به همراه انواع دیگر، تشریح می‌گردد که فهم مطلب ساده‌تر شده و اثر هر کدام از دستگاههای مختصات در قبله‌یابی روشن گردد. در اینجا اصطلاحات مختلفی نسبت به آنچه که در فصل اول بکار رفت، بکار

1 Pear Shaped 2. Geodetic Reference Surfaces 3. Geoid

4 Spherical Coordinate 5. Geodetic (Spheroidal) Coordinates

6 Astronomic Coordinates 7. Geographic Coordinates

زاویه b ، زاویه بین قائم کروی و صفحه عمود بر محور چرخشی^۱ در مرکز کره (استوای کروی^۲)، عرض کروی^۳ نامیده می شود. اندازه عرض کروی از صفر تا ۹۰ درجه با علامت مثبت در نیمکره شمالی کره و با علامت منفی در نیمکره جنوبی کره تغییر می کند. نقاط با عرض کروی برابر، بر روی مدار کروی^۴ قرار می گیرند.

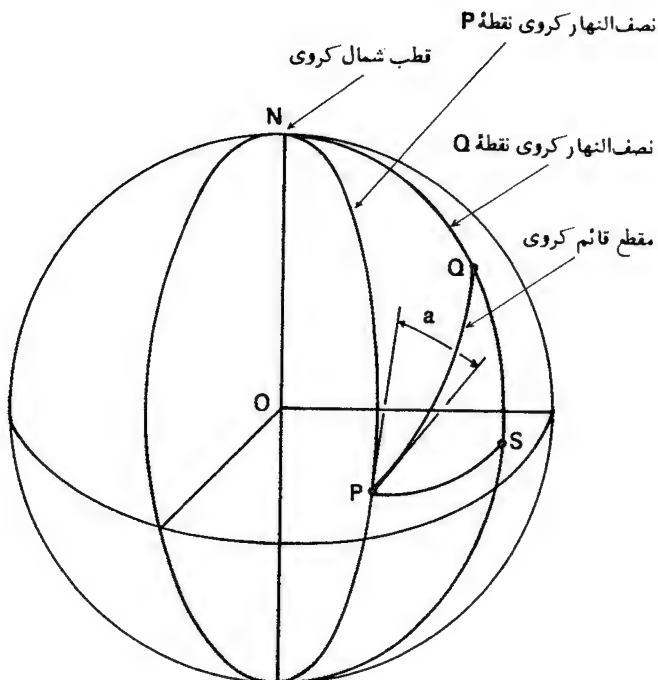
یکی از نصف النهارهای کروی، بعنوان نصف النهار کروی صفر^۵ (مبدء) مشخص می شود. زاویه a ، زاویه بین صفحه نصف النهار کروی صفر و صفحه نصف النهار کروی نقطه P ، که در صفحه استوای کروی در نظر گرفته می شود، طول کروی^۶ نقطه P نامیده می شود. طول کروی، از نصف النهار کروی مبدء بطرف مشرق مثبت و از صفر تا ۳۶۰ درجه تغییر می کند. نقاطی که دارای طول کروی برابرند بر روی یک نصف النهار کروی قرار می گیرند.

صفحاتی که شامل قائم کروی در یک نقطه اند، صفحات قائم کروی^۷ نامیده می شوند. محل برخورد صفحات قائم کروی با کره را مقاطع قائم کروی^۸ نامند. مقاطع قائم کروی همیشه دایره عظیمه اند. در حقیقت مقطع قائم کروی در تعیین جهت قبله، بکار گرفته می شود، بدین ترتیب که با فرض کروی شکل بودن زمین، صفحه ای که شامل قائم کروی محل مورد نظر و قائم کروی خانه کعبه باشد، کره را در دایره عظیمه ای قطع می کند که جهت قبله در امتداد آنست. صفحه عمود بر قائم کروی در نقطه P ، که در نتیجه بر سطح کره مماس می شود، افق کروی^۹ نقطه P نامیده می شود.

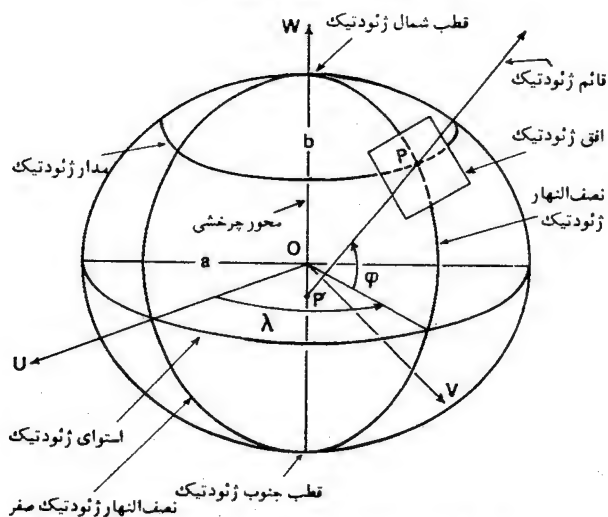
در شکل (۴-۸)، علاوه بر نقطه P ، نقطه دیگری مانند Q بر روی کره نشان داده شده است. زاویه a ، زاویه بین صفحه نصف النهار کروی نقطه P و صفحه قائم کروی نقطه P که از نقطه Q می گذرد، و بر روی صفحه افقی کروی نقطه P در نظر گرفته شود، سمت کروی^{۱۰} نقطه Q نامیده می شود. این زاویه، از سمت شمال نصف النهار اندازه گیری شده و در جهت عقربه های ساعت از صفر تا ۳۶۰ درجه تغییر می کند.

اگر نقطه دیگری بر روی سطح کره، مثلاً مانند نقطه S ، جدا از نقاط P و Q در نظر گرفته شود، کمانهای دایره های عظیمه PQ ، PS و QS تشکیل یک مثلث کروی می دهند. مثلث PQN در شکل (۴-۸) نیز یک مثلث کروی است.

- | | | |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 1. Rotation Axis | 2. Spherical Equator | 3. Spherical Latitude |
| 4. Spherical Parallel | 5. Zero Spherical Meridian | |
| 6. Spherical Longitude | 7. Spherical Normal Planes | |
| 8. Spherical Normal Sections | 9. Spherical Horizon | 10. Spherical Azimuth |



شکل (۸-۴) --- سمت بر روی کره.



شکل (۸-۵) --- دستگاه مختصات ژئودتیک.

۵-۲ مختصات ژئودتیک—شبه کره یا بیضوی دوار در ژئودزی، بیشتر بعنوان سطح مبنا در نظر گرفته می شود.

در شکل (۵-۸)، یک شبه کره با مرکز O ، نصف قطر اطول (a) و نصف قطر اقطر (b) نشان داده شده است. این شبه کره پخت، حول محوری که از مرکز O می گذرد، دوران می کند. فصل مشترک صفحه عمود بر محور دوران در مرکز O ، با سطح بیضوی، استوای ژئودتیک نامیده می شود. استوای ژئودتیک به شکل یک دایره با شعاع (a) است. سایر دایره های موازی با سطح استوای ژئودتیک که بر روی سطح شبه کره واقعند، مدارات ژئودتیک^۱ نامیده می شوند.

بیضی هایی که صفحات مولد آنها شامل محور چرخشی است، نصف النهارات ژئودتیک^۲ نام دارند. نصف النهارات ژئودتیک همدیگر را در قطبهای ژئودتیک^۳ قطع می کنند که یکی از آنها قطب شمال ژئودتیک^۴ و دیگری قطب جنوب ژئودتیک^۵ است.

در شکل (۵-۸)، نقطه P یک نقطه اختیاری بر روی بیضوی دوار است. خط PP' عمود بر سطح شبه کره بوده و قائم ژئودتیک^۶ نامیده می شود. صفحه عمود بر قائم ژئودتیک در نقطه P ، افق ژئودتیک^۷ نقطه P نامیده می شود. زاویه φ —زاویه بین قائم ژئودتیک و استوای ژئودتیک—عرض ژئودتیک^۸ نقطه P نامیده می شود. اندازه عرض ژئودتیک از صفر تا 90° درجه با علامت مثبت در نصف شمالی شبه کره و با علامت منفی در نیمه جنوبی آن تغییر می کند. نقاط دارای عرض ژئودتیک، مساوی بر یک مدار ژئودتیک قرار می گیرند.

یکی از نصف النهارات ژئودتیک، بصورت نصف النهار مبنا (صفر) در نظر گرفته می شود. زاویه λ ، زاویه بین صفحه نصف النهار صفر و صفحه نصف النهار نقطه P که در صفحه استوای ژئودتیک در نظر گرفته شود، به نام طول ژئودتیک^۹ نقطه P موسوم است. اندازه طول ژئودتیک از صفر تا 360° درجه با علامت مثبت بطرف مشرق نصف النهار مبنا، تغییر می کند.

در شکل (۶-۸)، سه نوع عرض مخصوص، به منظور استفاده در محاسبات، نشان داده شده است. بیضی مشهود در این شکل با نصف قطر اطول a و نصف قطر

- | | | |
|-----------------------|------------------------|------------------------|
| 1. Geodetic Equator | 2. Geodetic Parallels | 3. Geodetic Meridian |
| 4. Geodetic Poles | 5. North Geodetic pole | 6. South Geodetic pole |
| 7. Geodetic Normal | 8. Geodetic Horizon | 9. Geodetic Latitude |
| 10. Geodetic Parallel | 11. Geodetic Longitude | |

اطول b ، صفحه نصف النهار نقطه P است. خط OP برابر ρ (رؤ) شعاع ژئودتیک^۲ نقطه P است. زاویه φ' ، زاویه بین شعاع ژئودتیک و صفحه استوای ژئودتیک، عرض زمین مرکزی^۳، نامیده می شود. زاویه Ψ (پسی^۴)، زاویه بین خط OP و استوای ژئودتیک، عرض کاهش یافته^۵ نام دارد، که نقطه P محل برخورد خطی است که از نقطه P ، بموازات محور چرخشی، رسم شده است، و دایره رسم شده به مرکز O و شعاع به طول a است.

رابطه بین عرضهای ژئودتیک (φ)، زمین مرکزی (φ') و کاهش یافته (Ψ)، به صورت زیر است:

$$\tan \varphi' = \frac{b}{a} \tan \Psi = \frac{b^2}{a^2} \tan \varphi \quad (۸-۴)$$

$$\tan \varphi' = (1 - f) \tan \Psi = (1 - f)^2 \tan \varphi \quad (۸-۵)$$

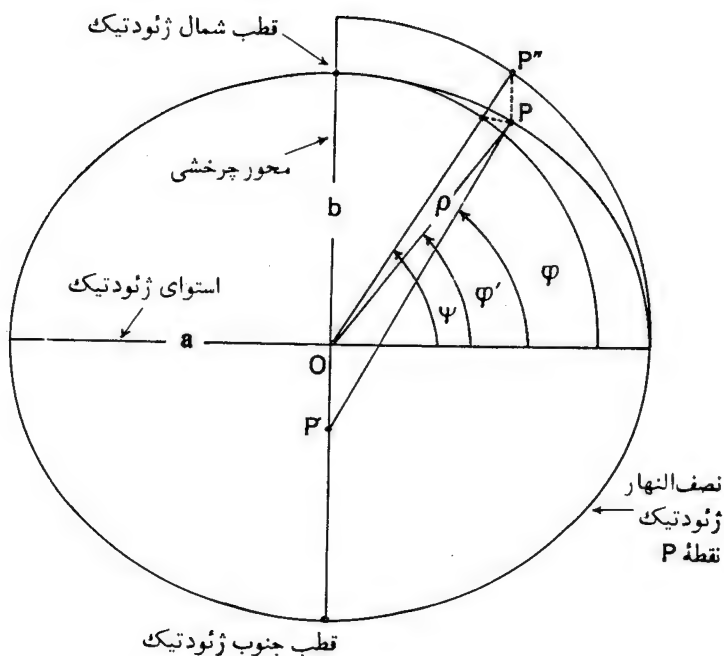
$$\tan \varphi' = \sqrt{1 - e^2} \tan \Psi = (1 - e^2) \tan \varphi \quad (۸-۶)$$

که در آنها، f ضریب فشردگی^۶ و e خروج از مرکز^۷ است. طول شعاع ژئودتیک (ρ)، از رابطه زیر بدست می آید:

$$\rho = \frac{a \sqrt{1 - e^2}}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2 \varphi}} \quad (۸-۷)$$

قائم ژئودتیک قبلاً تعریف شد. صفحاتی که قائم ژئودتیک یک نقطه در آنها قرار دارد، به نام صفحات قائم ژئودتیک^۸ موسوم اند. منحنیهای حاصل از فصل مشترک صفحات قائم ژئودتیک با سطح شبه کره، به نام مقاطع قائم ژئودتیک^۹ معروف است. شعاعهای مقاطع قائم ژئودتیک، برخلاف دستگاه کروی، با توجه به جهت مقاطع قائم ژئودتیک، متغیر است. دو شعاع اصلی، در رابطه با دو مقطع قائم ژئودتیک در نظر گرفته می شوند؛ یکی مقطع قائم ژئودتیک که بر نصف النهار ژئودتیک منطبق است و دیگری مقطع قائم ژئودتیک عمود بر نصف النهار ژئودتیک است. شعاع مقطع قائم

- | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|------------------------|--------|
| 1. Rho | 2. Geodetic Radius | 3. Geocentric Latitude | 4. Psi |
| 5. Reduced Latitude | 6. Flattening | 7. Eccentricity | |
| 8. Geodetic Normal Planes | 9. Geodetic Normal Sections | | |



شکل (۸-۶) - عرض زمین مرکزی و عرض کاهش یافته.

ژئودتیک منطبق بر نصف النهار ژئودتیک، شعاع انحنای نصف النهار^۱ نام دارد و با حرف (M) نشان داده می‌شود. شعاع مقطع قائم ژئودتیک عمود بر نصف النهار ژئودتیک، شعاع انحنای عرضی^۲ نامیده می‌شود و با حرف (N) مشخص می‌گردد. شعاعهای انحنای نصف النهار و عرضی از فرمولهای زیر محاسبه می‌شوند:

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}} \quad (8-8)$$

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{1}{2}}} \quad (8-9)$$

جهت یک مقطع قائم ژئودتیک، توسط سمت آن مشخص می شود. سمت مقطع قائم ژئودتیک^۱ نقطه ای مانند P از نقطه ای دیگر مانند نقطه Q، عبارت از زاویه بین صفحه نصف النهار نقطه P و صفحه قائم ژئودتیک^۲ نقطه P که از نقطه Q می گذرد، می باشد، این زاویه از صفر تا ۳۶۰ درجه، در جهت حرکت عقربه های ساعت، اندازه گیری می شود.

چنانکه به مطلب شعاع انحنا^۳ برگردیم، شعاع انحنا یک مقطع قائم ژئودتیک اختیاری (R_α)، از فرمول زیر تعیین می گردد:

$$\frac{1}{R_\alpha} = \frac{\cos^2 \alpha}{M} + \frac{\sin^2 \alpha}{N} \quad (۸-۱۰)$$

که در آن (α)، سمت مقطع قائم ژئودتیک نقطه مورد نظر است.

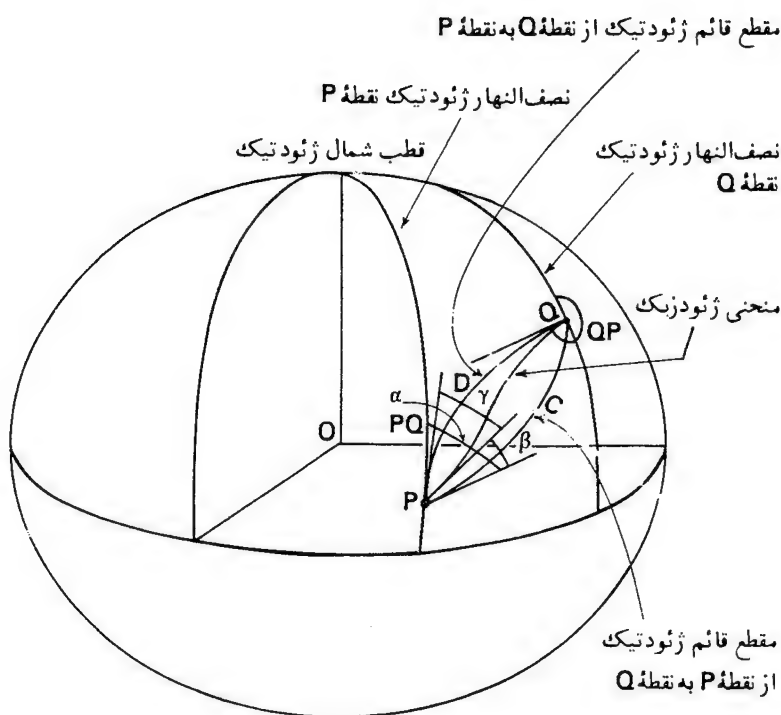
متوسط اندازه شعاعهای انحنا تمام مقاطع ژئودتیک (r) یک نقطه، از سمت صفر درجه ($\alpha = 0$) تا سمت ۳۶۰ درجه ($\alpha = 360$)، بر روی شبه کره، از رابطه زیر بدست می آید:

$$r = \sqrt{M \times N} \quad (۸-۱۱)$$

سمت مقطع قائم ژئودتیک نیازمند پاره ای توضیحات است. بر روی یک کره، صفحه قائم کروی نقطه P از نقطه Q یا صفحه قائم کروی نقطه Q از نقطه P، یک صفحه است و تشکیل دو صفحه مجزا را نمی دهند. اما بر روی یک شبه کره، وضعیت متفاوت است. مقطع قائم ژئودتیک نقطه P که از نقطه Q می گذرد و مقطع قائم ژئودتیک نقطه Q که از نقطه P می گذرد، تشکیل دو منحنی جداگانه را می دهند و بر هم منطبق نیستند، شکل (۷-۸). بنابراین در هر یک از دو نقطه P و Q، دو مقطع قائم ژئودتیک موجود است که ممکن است در سنجیدن سمت مقطع قائم ژئودتیک تولید اشتباه شود، بدین ترتیب که این ابهام پیش آید که سمت را نسبت به کدام یک از مقاطع باید در نظر گرفت.

برای جلوگیری از اشتباه، اصطلاح سمت ژئودتیک^۵ تعریف می شود. اما قبل از تعریف سمت ژئودتیک خط منحنی ژئودزیک^۶ تعریف می شود.

1. Azimuth of the Normal Section 2. Geodetic Normal plane
3. Radius of curvature 4. Spherical Normal plane
5. Geodesic Azimuth 6. Geodesic Line curve



شکل (۸-۷) — سمت بر روی شبه کره.

در شکل (۸-۷)، منحنی \widehat{PDQ} ، مقطع قائم ژئودتیک از نقطه Q به نقطه P و منحنی \widehat{PCQ} ، مقطع قائم ژئودتیک از نقطه P به نقطه Q است. این دو منحنی هر کدام منحنی مسطح اند، بدین معنی که هر کدام در یک صفحه مسطح قرار دارند. به همین جهت منحنی \widehat{PDQ} به نام منحنی مسطح از نقطه Q به نقطه P ، و منحنی \widehat{PCQ} به نام منحنی مسطح از نقطه P به نقطه Q نیز نامیده می‌شوند. چنانکه در شکل (۸-۷) نمایانده شده، اگر نقطه Q در شمال شرقی نقطه P باشد، منحنی \widehat{PDQ} در شمال منحنی \widehat{PCQ} قرار خواهد گرفت. تفاوت طولی زیادی بین دو منحنی \widehat{PDQ} و \widehat{PCQ} وجود ندارد. همچنین زاویه بین دو منحنی، در نقطه P ، زاویه بسیار کوچکی است و با افزایش

طول منحنی زیاد می شود.

بر روی یک کره، کوتاهترین فاصله بین دو نقطه، در امتداد دایره عظیمه ای است که از دو نقطه می گذرد. اما بر روی یک شبه کره، شرایط، کاملاً متفاوت است. در این حالت، کوتاهترین فاصله در امتداد یک منحنی است که به نام خط ژئودزیک^۱ موسوم است. خط ژئودزیک در بین دو منحنی مسطح قرار دارد و دارای انحنای برگشته^۲ است، انحنای برگشته، بدان معنی است که منحنی، از دو کمان با شعاعهای برابر یا نامساوی تشکیل می یابد و مرکز هر کمان در یکطرف منحنی قرار دارد. در شکل (۷-۸)، زوایای بین خط ژئودزیک و هر یک از مقاطع قائم ژئودتیک در نقطه P، با زاویه های β و γ نشان داده شده است. نسبت این دو زاویه به نسبت یک به دو دو است، یعنی $\frac{\beta}{\gamma} = \frac{1}{2}$. زاویه β زاویه خیلی کوچکی است و بیشترین مقدار آن

$(\beta_{\text{Max}} = 0.014^\circ)$ برای مقطع قائم ژئودتیک با طول برابر ۱۰۰ کیلومتر

است و اندازه این زاویه با افزایش طول، اضافه می شود.

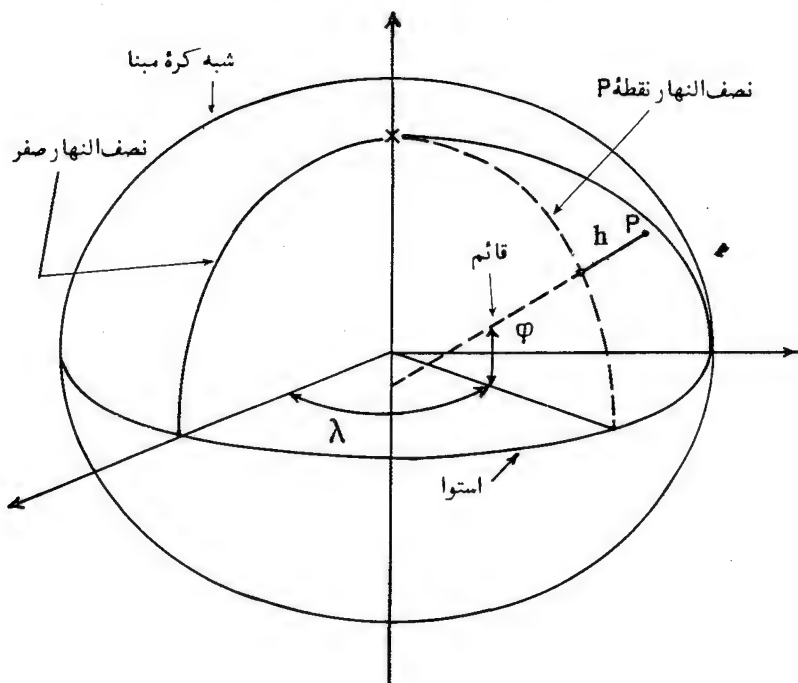
حال سمت ژئودتیک تعریف می شود: سمت ژئودتیک زاویه بین نصف النهار ژئودتیک و مماس بر خط منحنی ژئودزیک است.

مختصات ژئودتیک ممکن است نسبت به یک شبه کره با وضعیت و جهت اختیاری سنجیده شود و یا نسبت به یک شبه کره که مرکز آن در گرانیگاه زمین^۳ قرار دارد و دارای جهت اختیاری است و قطر اقصا آن بر محور چرخشی میانگین^۴ زمین منطبق می باشد، سنجیده شود. در حالت نخست، وضعیت، وضعیت نسبی^۵ نامیده می شود و در حالت دوم، وضعیت مطلق^۶ و یا زمین مرکزی^۷. مختصات ژئودتیک در دستگاه مطلق و یا زمین مرکزی، مختصات ژئودتیک مطلق^۸ و یا مختصات ژئودتیک زمین مرکزی^۹ نامیده می شود. مختصات ژئودتیک زمین مرکزی را نباید با مختصات زمین مرکزی^{۱۰} که طی رابطه های (۴-۸)، (۵-۸) و (۶-۸)، بیان شد، اشتباه گرفت.

مختصات ژئودتیک معمولی عبارت است از، عرض ژئودتیک (φ)، طول ژئودتیک (λ) و ارتفاع ناظر نسبت به سطح شبه کره مینا، که در امتداد قائم ژئودتیک اندازه گیری می شود. این ارتفاع به نام ارتفاع ژئودتیک^{۱۱} نامیده شده و با حرف (h)

1. Geodesic Line 2. Reversed Curvature 3. The Center of Gravity of the Earth
4. Average Rotation Axis 5. Relative 6. Absolute 7. Geocentric
8. Absolute Geodetic Coordinates 9. Geocentric Geodetic Coordinates
10. Geocentric Coordinates 11. Geodetic Height

نمایش داده می‌شود که علامت آن ممکن است منفی هم باشد. پارامترهای φ ، λ و h ، وضعیت ناظر را نسبت به شبه کره مبنا تعیین می‌کند، شکل (۸-۸).



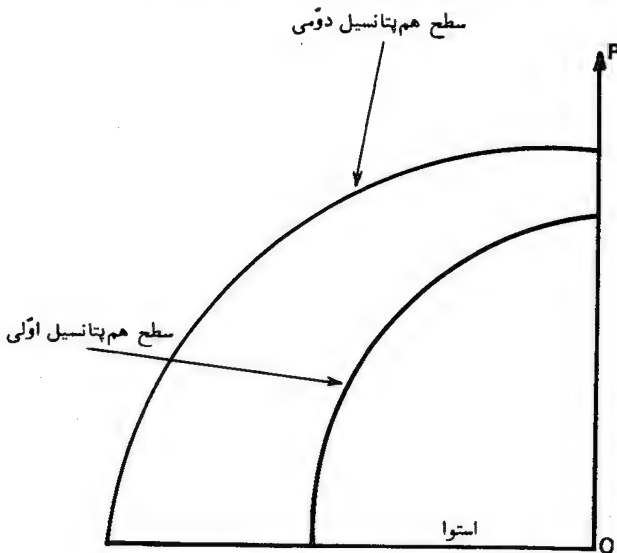
شکل (۸-۸) — مختصات ژئودتیک یک شبه کره مبنا برای نمایاندن وضعیت نقطه P بر روی زمین بکار برده شده است. خط قائم ژئودتیک عبارت از عمودی که از نقطه P بر سطح شبه کره مبنا رسم شده که h فاصله نقطه P از سطح مبناست. زاویه بین خط عمود بر سطح شبه کره مبنا و سطح استوا، عرض (φ) است. زاویه بین نصف النهار نقطه P و نصف النهار صفر، طول (λ) می‌باشد.

در محاسبات ژئودتیک که دقت محاسبه کمتری مورد نیاز است، ممکن است شبه کره را با یک کره، بعنوان شکل زمین با دقت کمتر، جایگزین کرد. شعاع چنین کره‌ای که دارای حجم (جرم) مساوی شبه کره باشد، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R = a\sqrt{1-f} \quad (۸-۱۲)$$

۵-۳. **مختصات نجومی**^۱ — سطح مبنای مرسوم در مختصات نجومی، شکل زمین-گون^۲ (ژئوئید) است. قبل از تشریح شکل زمین گون، سطح هم پتانسیل^۳ تعریف می شود. **سطح هم پتانسیل**: پتانسیل ثقل^۴ زمین در نقاط مختلف واقع بر روی سطح آن، در عرضهای جغرافیایی مختلف، متفاوت است. یک سطح هم پتانسیل و یا یک سطح دارای پتانسیل برابر، عبارت از سطحی است که پتانسیل ثقل زمین در تمام نقاط واقع بر آن برابر باشند. یک تغییر در پتانسیل، برابر با کار صورت گرفته از انتقال یک واحد جرم از یک سطح هم پتانسیل به یک سطح دیگر است. سطح هم پتانسیل در همه جا عمود بر امتداد شاقولی^۵ و جهت ثقل^۶ زمین است. سطح هم پتانسیل را سطح ژئو پتانسیل^۷ و یا ژئوپ^۸ نیز می نامند.

پتانسیل قابل مقایسه با ارتفاع است. بنابراین سطح ژئو پتانسیل، سطحی است که تمام نقاط واقع بر روی آن دارای نیروی ثقل^۹ برابر است. نیروی ثقل در قطبها، بیشتر از استواست. لذا چنانکه دو سطح، هم پتانسیل در نظر گرفته شوند، فاصله آنها در قطبها، بهم نزدیکتر از فاصله آنها در استواست، شکل (۸-۹).



شکل (۸-۹) — سطح هم پتانسیل.

- | | | |
|---------------------------|---------------|--------------------------|
| 1. Astronomic Coordinates | 2. Geoid | 3. Equipotential Surface |
| 4. Gravity Potential | 5. Plumb Line | 6. Direction of Gravity |
| 7. Geopotential Surface | 8. Geop | 9. Force of Gravity |

نیروی ثقل زمین، بعلت تغییر جرم زمین، از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر تغییر می‌کند، چه، در جاهای کوهستانی جرم بیشتری نسبت به جرم موجود در دریاها نهفته است. بنابراین شکل سطح پتانسیل، بستگی به تقسیم نامنظم جرم در داخل زمین دارد و در نتیجه، نمی‌شود آن را با یک فرمول ریاضی بسته^۱ مانند سطح یک شبه کره، نمایاند. لذا در معنای مرسوم آن، سطح هم‌پتانسیل یک سطح ریاضی نمی‌باشد و بلکه یک سطح فیزیکی است.

شکل زمین‌گون (ژئوئید): شکل زمین‌گون، سطحی است که تقریباً منطبق بر سطح متوسط آب آرام اقیانوسهاست. بنابراین چنانکه سطح آب اقیانوسها را توسط کانالهایی بر روی زمین، به همدیگر متصل کنیم، سطح آب آنها بر سطح ژئوئید قرار خواهد گرفت.

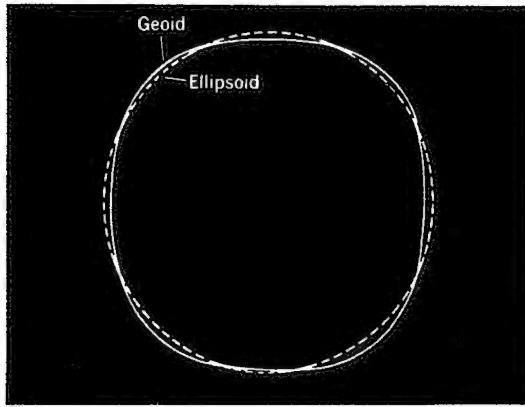
نیروی ثقل، مجموعه پتانسیل گرانشی^۲ (جذب) و پتانسیل نیروی گریز از مرکز^۳ است. بنابراین چنانکه دقیقتر بگوئیم، سطح هم‌پتانسیل، سطحی است که در آن نیروی ثقل و چرخش زمین، در توازن‌اند. و شکل زمین‌گون، آن سطح هم‌پتانسیل از میدان ثقل^۴ زمین است که بهتر از همه سطوح دیگر بر سطح متوسط آب اقیانوسها منطبق می‌شود.

از آنجایی که سطح متوسط آب اقیانوسها بیشتر از یک متر با چنین سطحی اختلاف ندارد، لذا شکل زمین‌گون را می‌توان با سطح آب آرام اقیانوسها متصور ساخت، اگر می‌شد آب آنها را از زیر قاره‌ها به هم متصل کرد. چنین سطحی دارای این خاصیت است که در همه جای آن امتداد عمودی (امتداد جاذبه^۵) بر سطح آن عمود است.

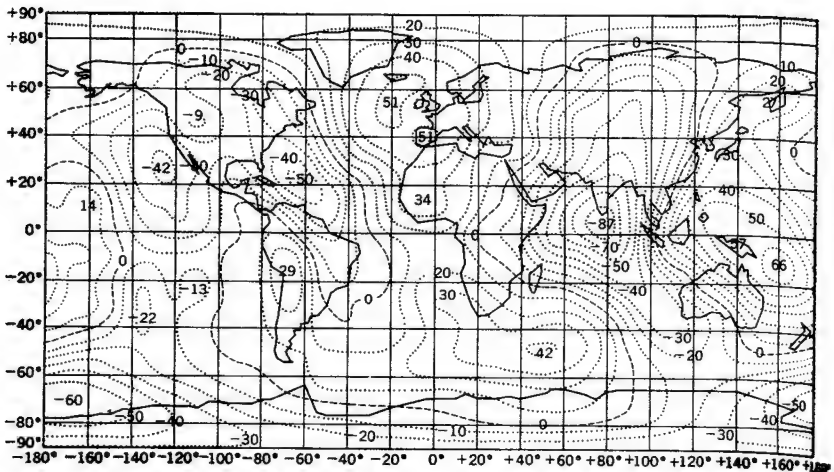
شکل زمین‌گون در علم ژئودزی دارای اهمیت اساسی است. از نظر ریاضی، دارای شکل ویژه‌ای است، چه سطح آن، مطابق تغییرات جرم در زمین، تغییر می‌کند، و سطح آن بیشتر از ۱۰۰ متر بطرف بالا و یا پایین نسبت به سطح بهترین شبه کره منطبق شده، تغییر نمی‌کند، شکل (۸-۱۰).

در شکل (۸-۱۱)، منحنیهای تراز ارتفاعات ژئوئید نسبت به سطح بهترین شبه کره منطبق شده، نمایانده شده است، این نقشه، براساس اطلاعات بدست آمده از

1. Closed Mathematical Formula
2. Cravitational Attraction Potential
3. Potential of Centrifugal Force
4. Gravity Field
5. The Direction of Gravitational Pull



شکل (۸-۱۰) — مقایسه شکل زمین کون (ژئوئید) با بیضوی



شکل (۸-۱۱) — منحنیهای تراز اختلاف ارتفاع سطح ژئوئید نسبت به سطح شبه کره منطبق شده بر سطح زمین.

قمرهای مصنوعی تهیه شده است.

در شرایط خاص، می‌توان شکل زمین‌گون را بصورت عددی^۱، نقطه به نقطه تعیین و نقشه آن را تهیه کرد و چنانکه جزئیات، مورد نیاز نباشد و به یک فرم کلی کفایت شود، می‌توان آن را بصورت تحلیلی^۲ مشخص ساخت. معادله‌ای که چنین فرم کلی شکل زمین‌گون را مشخص می‌کند، دارای ۲۰۰ جمله^۳ است.

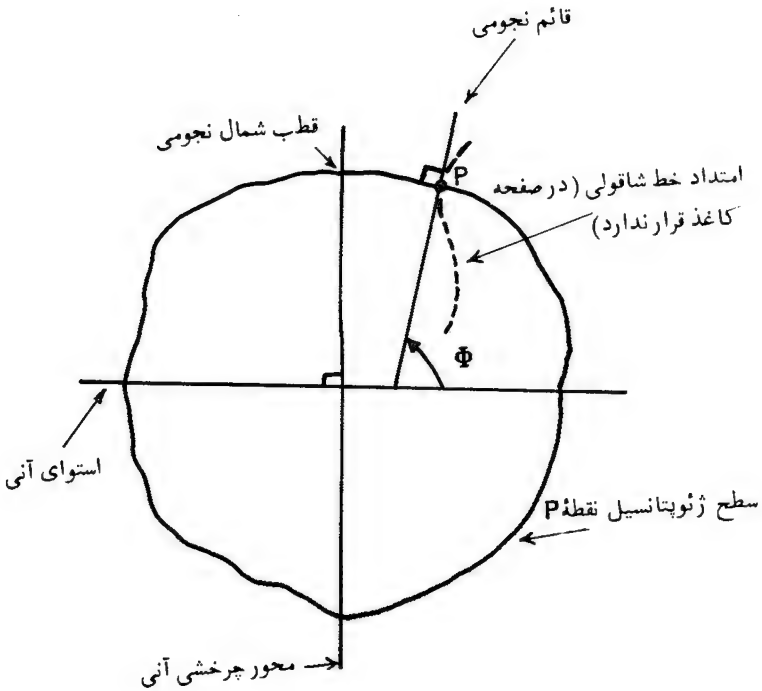
در ژئودزی شکل زمین‌گون را بعنوان شکل تقریبی زمین با تقریب اول^۴ و یا شکل تئوری زمین بکار می‌برند.

تعیین ارتفاع h که در دستگاه مختصات ژئودتیک بیان شد بسادگی قابل تعیین نیست و بجای آن ارتفاع نقطه، از سطح ژئوئید با عمل تراز کردن تعیین می‌گردد.

سطح مبنای نجومی: بطور کلی سطح مبنای مختصات نجومی^۵ یک نقطه، سطح هم‌پتانسیل آن نقطه است. مهمترین خواص یک سطح هم‌پتانسیل که از همدیگر نتیجه‌گیری شده‌اند، عبارت است از اینکه پتانسیل ثقل^۶ بر روی آن ثابت بوده و امتداد خط نیرو^۷ (امتداد خط شاقولی) در همه جا بر سطح آن عمود می‌باشد. مماس بر خط شاقولی^۸، بر جهت ثقل^۱ منطبق است. سطح هم‌پتانسیل، یک سطح صاف و پیوسته است. اما انحناى آن دارای عدم پیوستگی است و این عدم پیوستگی وقتی ایجاد می‌شود که وزن مخصوص جرم قطع شده، توسط سطح تغییر کند. امتداد خط شاقول دارای همان خواص است. بنابراین خط شاقولی، یک منحنی صاف سه بعدی است که دارای هیچگونه بریدگی نیست اما انحناى آن دارای پیوستگی نمی‌باشد، و عدم پیوستگی انحنا، زمانی صورت می‌گیرد که وزن مخصوص جرمی که توسط خط شاقولی قطع می‌شود، تغییر کند.

شکل (۸-۱۲)، مقطعی از یک سطح هم‌پتانسیل است که مماس بر خط شاقولی، در نقطه اختیاری P ، در آن قرار گرفته است و خود خط شاقولی، در آن قرار ندارد. خط افقی واقع در مرکز آن، محل تقاطع مقطع سطح هم‌پتانسیل با سطح استوای آنی^{۱۱} است، که سطح استوای آنی، سطح عمود بر محور چرخشی آنی^{۱۲} است. خط مماس بر خط شاقولی در نقطه P ، قائم نجومی^{۱۳} نامیده می‌شود. زاویه Φ ، زاویه بین

- | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------|
| 1. Numerically | 2. Analytically | 3. Term | 4. First Approximation |
| 5. Astronomic Reference Surface | 6. Astronomic Coordinates | | |
| 7. Potential of Gravity | 8. Line of Force | 9. Tangent to the Plumb Line | |
| 10. Direction of Gravity | 11. Instantaneous Equator | 12. Instantaneous Axis of Rotation | |
| 13. Astronomic Normal | | | |



شکل (۸-۱۲) — سطح ژئوتانسیل.

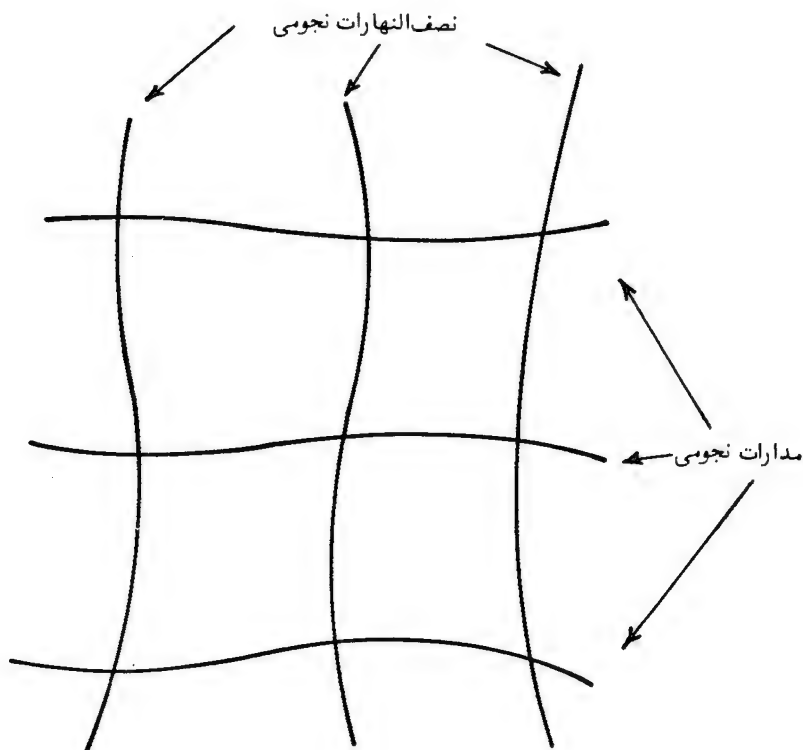
قائم نجومی و صفحه استوای آبی، عرض نجومی^۱ نقطه P است. اندازه آن می تواند از صفر تا ۹۰ درجه تغییر کند که در نیمه شمالی سطح هم پتانسیل، علامت آن مثبت و در نیمه جنوبی، علامت آن منفی است.

صفحه ای که بموازات محور چرخشی آبی زمین، از قائم نجومی می گذرد، صفحه نصف النهار نجومی^۲ نامیده می شود. در اینجا صفحه نصف النهار، نمی تواند بصورتی که قبلاً تعریف شد (صفحه ای که هم از قائم و هم از محور چرخشی می گذرد) تعریف شود، زیرا قائم نجومی لزوماً محور چرخشی را قطع نمی کند. زاویه Δ (لاندا ی بزرگ)^۳، زاویه بین صفحه یک نصف النهار نجومی مشخص شده صفر درجه (مینا) و صفحه نصف النهار نجومی در نقطه P، طول نجومی^۴ نقطه P نامیده می شود. اندازه آن از صفر

- 1.) Astronomic Latitude
2. Astronomic meridian plane
- 3.) Capital Lambda
4. Astronomic Longitude

تا ۳۶۰ درجه بطرف مغرب، تعیین می‌گردد. نقاط دارای عرض نجومی برابر، بر روی یک مدار نجومی^۱ قرار می‌گیرند. همچنین نقاط واقع بر روی یک نصف‌النهار نجومی^۲، دارای طول نجومی برابرند. منحنیهای مدارات و نصف‌النهارات نجومی نه دایره‌ای (حالت کره) و نه بیضی (حالت شبه کره) شکل اند بلکه منحنیهای فضائی^۳ اند، شکل (۸-۱۳).

قطبهای نجومی^۴، محل برخورد محور چرخشی آنی زمین با سطح هم‌پتانسیل است که یکی از آنها قطب شمال نجومی^۵ و دیگری قطب جنوب نجومی^۶ است. با توجه به تعریف عرض نجومی، لزوماً عرض نجومی در قطبهای نجومی برابر $90^\circ \pm$ نیست



شکل (۸-۱۳) — مدارات و نصف‌النهارات نجومی.

1. Astronomic parallel

2. Astronomic Meridian

3. Space Curve

4. Astronomic Poles

5. North Astronomic pole

6. South Astronomic Pole

و عرض نجومی در نقطه‌ای غیر از قطبهای نجومی، می‌تواند $90^\circ \pm$ باشد. این مطلب بستگی به شکل سطح هم‌پتانسیل و یا چگونگی پخش جرم دارد.

صفحه عمود بر قائم نجومی نقطه p ، در نقطه p ، افق نجومی^۱ آنست. صفحاتی که از قائم نجومی نقطه p می‌گذرند، صفحات قائم نجومی^۲ نقطه p نامیده می‌شوند. چنانکه نقطه‌ای مانند Q ، جدا از نقطه p را در نظر بگیریم، زاویه بین صفحه نصف‌النهار نجومی نقطه p با صفحه قائم نجومی نقطه p که از نقطه Q بگذرد و در صفحه افق نجومی نقطه p در نظر گرفته شود، سمت نجومی^۳ نقطه Q نامیده می‌شود. سمت نجومی از قسمت شمالی نصف‌النهار نجومی در جهت عقربه‌های ساعت اندازه‌گیری شده و از صفر تا 360° درجه متغیر است.

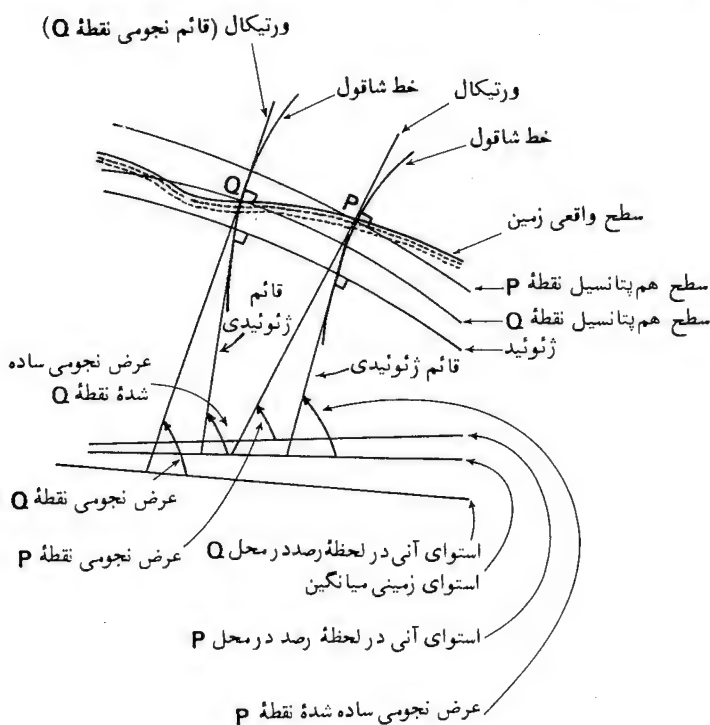
در عمل، سطح هم‌پتانسیلی که دستگاه نجومی مذکور در فوق، غالباً نسبت به آن سنجیده می‌شود، آن سطحی است که از نقطه رصد بر روی زمین گذری می‌کند. در چنین حالتی پارامترهای مختلف نجومی، از قبیل عرض، طول، سمت، قطبها و غیره دارای پسوند مشاهده شده^۴ یا آنی^۵، هستند. مثلاً می‌گوییم عرض نجومی مشاهده شده^۶ یا عرض نجومی آنی^۷. لذا پارامترهای نجومی مشاهده شده و یا آنی همگی نسبت به سطح هم‌پتانسیلی که از نقطه رصد عبور می‌کند، سنجیده می‌شوند. اما به منظور سادگی ممکن است پارامترهای مختلف را فقط بعنوان مقادیر نجومی^۸ نامید. اما در زبان انگلیسی قائم نجومی و صفحه قائم نجومی وقتی که نسبت به سطح هم‌پتانسیل ناظر در نظر گرفته شوند بصورت دیگری هم بیان می‌شوند؛ قائم نجومی به نام ورتیکال^۹ و صفحه قائم نجومی به نام صفحه ورتیکال^{۱۰} معروفند. بنابراین وقتی که گفته می‌شود عرض نجومی، منظور زاویه بین ورتیکال ناظر و صفحه استوای آنی است.

چنانکه آشکار است، تعریف مقادیر نجومی، بصورتی که گذشت خالی از اشکال نیست. از آنجایی که نقاط مختلف رصد لزوماً بر روی یک سطح هم‌پتانسیل قرار ندارند، لذا رصدهای انجام شده، در جاهای مختلف، نسبت به سطحهای مختلف مبنا در نظر گرفته می‌شوند و در نتیجه، مدارات و نصف‌النهارات نجومی معنی خود را از دست می‌دهند. همچنین وضعیت محور چرخشی زمین نسبت به جسم سخت^{۱۱} زمین متغیر است (حرکت

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. Astronomic Horizon | 2. Astronomic Normal Planes |
| 3. Astronomic Azimuth | 4. Observed 5. Instantaneous |
| 6. Observed Astronomic Latitude | 7. Instantaneous Astronomic Latitude |
| 8. Astronomic Quantities | 9. Vertical 10. Vertical Plane 11. Solid Body |

قطبی^۱، و از آنجایی که رصدها محتملاً همزمان انجام نمی‌شوند، لذا آنها نسبت به محورهای چرخشی آنی^۲ مختلف و استوای آنی^۳ متعدد در نظر گرفته می‌شوند، شکل (۸-۱۴).

برای رفع این اشکال، مقادیر نجومی را ممکن است نسبت به سطح ژئوئید، که یک سطح مشترک برای همه رصد کنندگان است، و نسبت به یک محور چرخشی (مبنای) میانگین^۴ و بالاخره نسبت به استوای مربوط به این محور چرخشی، بر روی زمین، در نظر گرفت. در این حالت مقادیر نجومی، به نام مقادیر عادی^۵، مقادیر ساده شده^۶ و یا مقادیر میانگین^۷ نامیده می‌شوند. بنابراین عرض نجومی ساده شده^۸، زاویه بین قائم ژئوئیدی^۹ و استوای زمینی (مبنای) میانگین^{۱۰} است. فرق مقادیر نجومی ساده شده^{۱۱} با مقادیر نجومی



شکل (۸-۱۴) - عرضهای نجومی.

- | | | |
|---|-----------------------------------|---------------------------|
| 1. Polar Motion | 2. Instantaneous Rotation Axes | 3. Instantaneous Equators |
| 4. Average (Reference) Rotation Axis | 5. Ordinary | 6. Reduce |
| 7. Average | 8. Reduced Astronomic Latitude | 9. Geoidal Normal |
| 10. Average Terrestrial (Reference) Equator | 11. Reduced Astronomic Quantities | |

مربوط، در تصحیح لازم برای حرکت قطبی و انحنای خط شاقولی^۱ است. مختصات نجومی مرسوم عبارت است از عرض نجومی ساده شده Φ ، طول نجومی ساده شده Λ و ارتفاع^۲ ناظر از سطح ژئوئید در امتداد خط شاقول (H) که این ارتفاع، ارتفاع ارتومتریک^۵ نامیده می شود. مقادیر Φ ، Λ و H، وضعیت ناظر را نسبت به سطح زمین گون (ژئوئید) و محور چرخشی میانگین زمین^۶، تعیین می کنند. در این بخش روابط بین دستگاه های مبنای ژئودتیک مختلف داده نشده است. در حقیقت مطالب این بخش، فقط به منظور فهم بخش نهم است، که در آن یک برنامه تحقیقات بین المللی، در مورد تعیین دقیق قله با نگرشی نو، مطرح می شود.

- | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------|
| 1. Curvature of Plumb Line | 2. Reduced Astronomic Latitude | |
| 3. Reduced Astronomic Longitude | 4. Height | 5. Orthometric Height |
| 6. The Average Rotation Axis of the Earth | | |

یک برنامه تحقیقاتی بین‌المللی در مورد تعیین همزمان قبله در دنیا

در فصل هشتم، چگونگی شکل زمین را مطالعه کردیم. همچنین چگونگی تعیین جهت قبله را در تاریخهای تقریبی هشتم خرداد (بیست و نهم ماه مه) و بیست و پنجم تیرماه (شانزدهم ژوئیه)، از راه تعیین جهت سایه یکشی قائم، در بخش (۵-۵) فصل پنجم، دیدیم. امکان دارد که این روش را بتوان در سطح بین‌المللی بکار گرفت و چنانکه توضیح داده شده است، می‌بایست لحظه قرارگرفتن خورشید در سمت الرأس مکه، برحسب زمان استاندارد، در محل مربوط، محاسبه گردد.

امروزه سیگنالهای^۱ دقیق وقت، توسط ایستگاههای قوی رادیویی، در کشورهای مختلف، مطابق اوقات استاندارد آنها، پخش می‌شود. بنابراین امکان پخش همزمان لحظه قرارگیری خورشید در سمت الرأس مکه معظمه، از طریق ایستگاههای رادیویی در کشورهای مختلف، وجود دارد. لذا با پخش همزمان لحظه قرارگیری خورشید در سمت الرأس مکه معظمه، هر کس قادر خواهد بود امتداد جهت قبله را از راه تعیین سایه نخ یک شاقول، بدست آورد.

اما قبل از بکارگیری این روش در سطح بین‌المللی، می‌بایست نکاتی چند را مورد تحقیق قرار داد.

در این فصل، پارامترهای متعددی که در این روش، مؤثرند مورد بررسی قرار می‌گیرد. در حین اجرای برنامه تحقیقات مورد لزوم، ممکن است اثر پارامترهای دیگری آشکار شود.

۱. اثر مختصات جغرافیایی مکه

در فصل پنجم، اثر مختصات دقیق کعبه معظمه در تعیین جهت قبله، تشریح گردید. همچنین چنانکه قبلاً هم گفته شده، میل خورشید کمیتی است که دائماً در حال تغییر بوده و مقادیر دقیق آن بر حسب درجه، دقیقه، ثانیه و حتی دهم ثانیه، در جداول نجومی داده می شود. چون میل خورشید با دقت زیادی تعیین می شود و در این روش عرض جغرافیایی کعبه با میل خورشید مقایسه می گردد، لذا تعیین دقیق عرض جغرافیایی کعبه، امری ضروری است.

همچنین در محاسبه دقیق لحظه عبور خورشید از سمت الرأس مکه، بر حسب وقت استاندارد محل دیگر، طول جغرافیایی کعبه مورد نیاز است. بنابراین در کاربرد این روش، در تعیین جهت قبله، باید مختصات جغرافیایی دقیق کعبه در دسترس باشد.

۲. امکان عبور خورشید از سمت الرأس مکه در لحظه ظهر خورشیدی

چنانکه گفته شد، اساس این روش، بر تساوی میل خورشید با عرض جغرافیایی کعبه، در لحظه دقیق ظهر ظاهری محلی، استوار است. امکان این برابری در لحظه خاص، همیشه وجود ندارد. برای فهمیدن چگونگی و میزان برابری میل خورشید و عرض جغرافیایی کعبه، لازم است مقادیر میل خورشید در سالهای گذشته، از جداول نجومی استخراج و با عرض جغرافیایی دقیق کعبه مقایسه گردد.

این مسئله روشن است که دوبار در سال میل خورشید در زمانهای خاص، دقیقاً با عرض جغرافیایی کعبه، برابر می شود. تاریخهای تقریبی برابری، با توجه به اطلاعات ارائه شده در این کتاب چنانکه ملاحظه شد، در هشتم خرداد (بیست و نهم مه) و بیست و پنجم تیر (شانزدهم ژوئیه) است. همچنین لازم می آید که میل خورشید در این دو روز، در لحظه ظهر خورشیدی در کعبه، تقریباً نزدیک اندازه عرض جغرافیایی کعبه باشد، اما چنانکه کاربرد روش، در سطح بین المللی، مطرح باشد، می بایست چگونگی و میزان برابری میل خورشید و عرض جغرافیایی کعبه تعیین گردد.

همچنین چنانکه طول جغرافیایی کعبه تقریباً برابر $۳۹^{\circ}/۹$ شرقی ($\lambda_K = ۳۹^{\circ}/۹E$) باشد، تقریباً مناطقی که بانداژه ۹۰° درجه در مشرق و مغرب نصف النهار کعبه قرار دارند، در موقع کاربرد روش، خورشید را در آسمان خواهند داشت. پس تقریباً مناطق بین نصف النهار $۵۰^{\circ}/۱$ غربی ($۵۰^{\circ}/۱ = ۳۹^{\circ}/۹ - ۹۰^{\circ} = \lambda$) و $۱۲۹^{\circ}/۹$ شرقی ($۱۲۹^{\circ}/۹ = ۳۹^{\circ}/۹ + ۹۰^{\circ} = \lambda$)، در زمانی که خورشید در سمت الرأس کعبه قرار دارد، آن را در آسمان خواهند دید. البته حدود این دو نصف النهار برای نواحی استوایی است و مناطق مربوط، در نیمکره شمالی، در مشرق نصف النهار $۱۲۹^{\circ}/۹$ شرقی و در مغرب نصف النهار $۵۰^{\circ}/۱$ غربی نیز ادامه خواهد داشت و از وسعت مناطق مربوط، در نیمکره جنوبی، بطرف مغرب نصف النهار $۱۲۹^{\circ}/۹$ شرقی و بجانب مشرق نصف النهار $۵۰^{\circ}/۱$ غربی، کاسته خواهد شد. در پاره‌ای از مناطق، خورشید در لحظه قرارگیری در سمت الرأس کعبه، در حال طلوع و یا غروب خواهد بود. در ادامه مطلب، در این بخش، راجع به مناطق تحت پوشش روش، بیشتر بحث خواهد شد.

بنابراین وقتی که روش، در تاریخهای ذکر شده بکار رود، بیشتر مناطق نیمکره شرقی^۱ را دربر خواهد داشت. تقریباً این مناطق از طرف مغرب شامل: گرین‌لند^۲، منطقه شرقی برزیل^۳، تمام قاره‌های اروپا و آفریقا، و از طرف مشرق، بیشتر قاره آسیا تا مناطق شرقی شوروی، چین، ژاپن و بیشتر مناطق اندونزی و مناطق غربی استرالیا را شامل خواهد شد. روش، در تاریخهای مربوط، در بیشتر مناطق نیمکره غربی، از قبیل: آمریکا، کانادا، منطقه شرقی استرالیا، نیوزلند و اغلب مناطق آمریکای جنوبی، بجز مناطق شرقی برزیل، کاربرد نخواهد داشت.

اما اساس روش را، در تاریخهای دیگر، در نیمکره غربی هم می‌توان بکار گرفت و چنانکه تشریح خواهد شد، آن، وقتی است که خورشید در سمت‌القدم کعبه قرار گیرد. در حقیقت کاربرد این روش در نیمکره غربی، برای اولین بار است که در این کتاب بیان می‌گردد و قبلاً در سایر منابع، راجع به کاربرد روش در تاریخهای دیگر، در نیمکره غربی، در حد اطلاع نگارنده، مطلبی نیامده است.

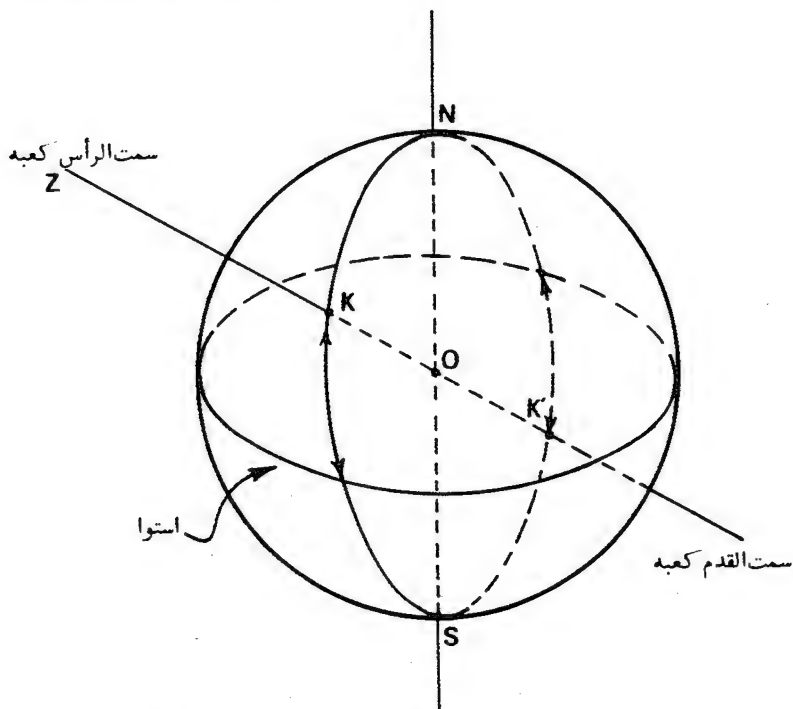
اساس روش، در نیمکره غربی، همانست که برای کاربرد روش در نیمکره شرقی بیان شده است. بر روی یک کره، کوتاهترین فاصله مابین دو نقطه، در امتداد کمانی از دایره عظیمه‌ای است که از دو نقطه می‌گذرد و چنانکه دیدیم، جهت قبله در هر

نقطه‌ای در امتداد کمانی از دایره عظیمه‌ای است که از آن نقطه و کعبه می‌گذرد، البته در صورتیکه زمین را به شکل کره کاملی فرض کنیم، قطری از کره زمین که از کعبه می‌گذرد، همیشه در صفحه دایره عظیمه مربوطه قرار خواهد داشت؛ این بدان معنی است که دایره عظیمه همیشه از نقطه متقابل کعبه بر روی زمین خواهد گذشت، شکل (۹-۲). مختصات جغرافیایی نقطه متقابل کعبه بر روی زمین، با فرض کروی شکل بودن زمین، به شرح زیر است:

$$\varphi_{K'} = 21^{\circ} 30' \text{ جنوبی}$$

$$\lambda_{K'} = 140^{\circ} 6' \text{ غربی}$$

این مختصات، مربوط به محلی در جنوب شرقی جزیره تاهیتی^۱ در میان سلسله کوهها و تپه‌های تواموتو^۲ واقع در اقیانوس آرام^۳ است. هر دایره عظیمه‌ای که از



شکل (۹-۲) — نقطه متقابل کعبه بر روی زمین. نقطه K' و کعبه در نقطه K بر روی یک قطر قرار دارند و وقتی که خورشید در سمت‌القدم کعبه (در نقطه K) است، در نقطه K' در سمت‌الرأس خواهد بود.

این نقطه بگذرد، از نقطه متقابل آن، یعنی کعبه خواهد گذشت، البته در صورتیکه زمین به شکل کره کامل فرض شود. این مطلب قبلاً هم در فصل پنجم در بخش (۱-۷-۵) نیز بیان شده است. و دیدیم که در این نقطه به هر سویی که ناظری بایستد، جهت او به سوی قله خواهد بود. اما در اینجا، این نکته مورد توجه نیست و منظور تعیین امتداد قله از روی امتداد سایه یک میله قائم در نیمکره غربی است. نقطه متقابل کعبه را که شرح آن گذشت، می توان به منظور تعیین امتداد قله، در بیشتر مناطق نیمکره غربی و یا مناطقی که امکان کاربرد روش در آنها، در تاریخهای تقریبی هشتم خرداد (بیست و نهم ماه مه) و بیست و پنجم تیر ماه (شانزدهم ژوئیه) ممکن نیست، بکار گرفت.

دوباره به جدول (۱-۶) در فصل ششم نظری می افکنیم، دیده می شود که میل خورشید در چهاردهم ماه ژانویه (بیست و چهارم دیماه در ۱۳۶۴) برابر $\delta = -21^{\circ} 27'$ ، و در سی ام نوامبر (نهم آذرماه در ۱۳۶۴) برابر $\delta = -21^{\circ} 33'$ است. این بدان معنی است که دوبار در سال، میل خورشید تقریباً برابر عرض جغرافیایی نقطه متقابل کعبه بر روی زمین (جنوبی $21^{\circ} 30'$) می شود؛ و یا عبارت دیگر، دوبار در سال در این تاریخها، خورشید در سمت الرأس نقطه متقابل کعبه قرار خواهد گرفت. وقتی که خورشید در سمت الرأس نقطه متقابل کعبه قرار گیرد، در حقیقت در سمت القدم کعبه قرار دارد. بنابراین دوبار در سال، در نهم آذرماه و بیست و چهارم دیماه خورشید در سمت القدم کعبه قرار دارد، که یک بار زمانی که خورشید از اعتدال پاییزی (در اول پاییز) بسوی انقلاب زمستانی (در اول زمستان) می رود، و بار دیگر وقتی است که دوباره از انقلاب زمستانی، بسوی اعتدال بهاری برمی گردد.

چنانکه در این دو تاریخ و در لحظه های معین، امتداد سایه نخ یک شاقول و یا یک میله قائم را تعیین کنیم، امتداد سایه، در جهت قله خواهد بود. دلیل این کار همانست که در فصل پنجم داده شده است و تنها فرق موجود در این حالت اینست که برخلاف حالت قبلی که امتداد سایه، در جهت مخالف امتداد آن، بسوی قله قرار می گرفت، خود امتداد سایه در جهت قله قرار خواهد داشت.

تعیین زمان عبور خورشید از سمت القدم کعبه و یا سمت الرأس نقطه متقابل کعبه، نیز مانند حالت قبلی است. چگونگی محاسبه زمان مربوط، در طی مثالهای بعدی می آید.

مثال (۹-۱) — محاسبه کنید که خورشید در چه زمانی به وقت مونترال^۱ در کانادا، در تاریخهای چهاردهم ژانویه و سیام نوامبر، از سمت القدم کعبه عبور می کند.

راه حل — نصف النهار استاندارد وقت استاندارد در مونترال ۱۰۵ درجه غربی است و بنابراین نصف النهار نقطه متقابل کعبه (غربی $۱۴۰^{\circ} ۶ = \lambda_K'$) در مغرب آن قرار داشته و در نتیجه علامت LA در فرمول (۳-۱) منفی است، پس در چهاردهم ژانویه خواهیم داشت:

$$LAT = ST + EOT - LA$$

$$۱۲ = ST - ۸/۸ - ۴ \times (۱۴۰^{\circ} / ۱ - ۱۰۵^{\circ})$$

بعد از ظهر ۲۹/۲ دقیقه و ۲ ساعت = ST

در نتیجه، بدون در نظر داشتن تغییر ساعت، به منظور استفاده بیشتر از روشنایی روز، در چهاردهم ژانویه، زمانی خورشید به وقت استاندارد مونترال، در سمت القدم کعبه قرار خواهد گرفت، که ساعت ۲ و ۲۹/۲ دقیقه بعد از ظهر است، و این وقتی است که در این تاریخ می توان جهت قبله را از روی امتداد سایه یک میله قائم تعیین کرد. برای سیام نوامبر خواهیم داشت:

$$۱۲ = ST + ۱۱/۵۵ - ۴ \times (۱۴۰^{\circ} / ۱ - ۱۰۵^{\circ})$$

بعد از ظهر ۸/۸۵ دقیقه و ۲ ساعت = ST

زمان تقریبی قرار گرفتن خورشید در سمت القدم کعبه را نیز می توان به وقت گرینیچ محاسبه کرد:

مثال (۹-۲) — محاسبه کنید که در چه وقتی به وقت گرینیچ، خورشید در روزهای چهاردهم ژانویه و سیام نوامبر، در سمت القدم کعبه قرار می گیرد.

راه حل — نصف النهار غربی $۱۴۰^{\circ} / ۱ = \lambda_K'$ در مغرب نصف النهار گرینیچ ($\lambda_G = ۰$) است، پس در چهاردهم ژانویه خواهیم داشت:

$$۱۲ = GMT - ۸/۸ - ۴ \times (۱۴۰^{\circ} / ۱ - ۰^{\circ})$$

بعد از ظهر ۲۹/۲ و ۹ ساعت = GMT

برای سیام نوامبر:

$$۱۲ = GMT + ۱۱/۵۵ - ۴ \times ۱۴۰^{\circ} / ۱$$

بعد از ظهر ۸/۸۵ دقیقه و ۹ ساعت = GMT

به همان دلیلی که در مورد قبلی ذکر شد (شکل (۱-۹))، در این حالت، روش را می توان در بیشتر مناطق نیم کره غربی در جنوب مدار $۵/۶۸^{\circ}$ شمالی بکار گرفت. مناطقی که می توان روش را در چهاردهم ژانویه و سی ام نوامبر بکار گرفت، عبارتند از: آمریکا، کانادا، نیوزیلند، بیشتر مناطق آمریکای جنوبی بجز مناطق شرقی برزیل و مناطق شرقی استرالیا.

در ابتدای این بخش، حدود مناطقی را که امکان کاربرد روش در آنها در هشتم خردادماه و بیست و پنجم تیرماه وجود دارد، نسبت به خط استوا تعیین کردیم. در اینجا راجع به چگونگی تعیین حدود مناطق، شرح بیشتری داده می شود. چنانکه قبلاً هم اشاره شده حدود نصف النهارهای داده شده، فقط در مورد مناطق استوایی صدق می کند، زیرا طول شب و روز در آنها همیشه برابر است.

زاویه ساعتی (h) خورشید را در لحظه غروب و طلوع آن، یعنی موقعی که ارتفاع (a) آن صفر است، می توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$\cos h = -\tan \delta \tan \varphi \quad (۱-۹)$$

این همان فرمول (۱۵-۶) است که در مطلب شماره (۳۹) در فصل ششم نیز داده شده است.

بنابراین کافی است که در هر عرض جغرافیایی، در شمال و یا جنوب استوا، زاویه ساعتی طلوع و یا غروب خورشید را محاسبه کرده، آنگاه آن را به ساعت ظاهری محلی و سپس به وقت استاندارد تبدیل ساخت. پس از اعمال تصحیح لازم برای شکست نور، ساعت طلوع یا غروب خورشید را با ساعتی که خورشید در سمت الرأس کعبه قرار می گیرد، مقایسه کرد و بدینوسیله بسادگی می توان دریافت که آیا امکان کاربرد روش، در منطقه وجود دارد یا خیر؛ عبارت دیگر، حدود منطقه کاربرد روش، تا زمانی است که وقت قرارگیری خورشید بر سمت الرأس مکه، در هر محل، بین ساعات طلوع و غروب خورشید باشد.

ممکن است در پاره ای از مناطق، ساعت طلوع و غروب خورشید برابر ساعت قرارگیری خورشید بر سمت الرأس (سمت القدم) کعبه باشد. در چنین مناطقی، خورشید بهنگام طلوع و یا غروب درست در امتداد قبله قرار می گیرد که سمت (A) خورشید بهنگام طلوع و یا غروب و در نتیجه، جهت قبله در چنین مناطقی را می توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$\cos A = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi} = \sin \delta \sec \varphi \quad (۲-۹)$$

این فرمول همان فرمول (۱۴-۶) است که در مطلب شماره (۳۹) در فصل ششم نیز داده شده است.

۴. اثر تصحیحات نجومی

تصحیحات نجومی در فصل ششم تشریح شد. اثر تصحیحات نجومی در نتیجه این روش، موضوعی است که می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. از آنجایی که امتداد سایه نخ یک شاقول، اساس روش را تشکیل می‌دهد لذا می‌بایست اثر تصحیحات نجومی بر روی سمت، مورد بررسی قرار گیرد.

وقتی که خورشید در سمت الرأس کعبه قرار می‌گیرد، ارتفاع ظاهری خورشید ۹۰ درجه خواهد بود و با توجه به فرمول (۲۹-۶) در فصل ششم، اثر شکست نور برابر صفر می‌شود. همچنین شکست نور اثری در سمت ندارد و لذا شکست آن تغییری در امتداد سایه میله قائم یا نخ شاقول ایجاد نمی‌کند.

در حقیقت وقتی که لحظه عبور خورشید از نصف النهار کعبه محاسبه می‌شود، لحظه عبور برای گذر مرکز خورشید از نصف النهار محاسبه می‌گردد، و لذا زمانی که سایه میله قائم در این لحظه گرفته شود، تصحیح نیم‌قطر، اثری در امتداد سایه، نخواهد داشت.

اختلاف منظر نیز تأثیری در سمت نداشته و در نتیجه روش اثر نخواهد داشت.

۵. اثر شکل زمین

اثر شکل زمین مهمترین مطلبی است که در اجرای این روش می‌بایست مورد رسیدگی قرار گیرد. چنانکه در فصل پنجم گفته شده است، اساس روش، بر این فرض است که زمین به شکل کره‌ای کامل باشد. در شکل (۳-۹)، زمین به شکل یک کره کامل با مرکز O فرض شده است. کعبه در نقطه K و با سمت الرأس Z نشان داده شده، که در نتیجه، خط KZ از نقطه O می‌گذرد. ناظری در نقطه T با سمت الرأس Z'، بسوی کعبه ایستاده است که TZ' نیز از نقطه O عبور می‌کند. با فرض کروی شکل بودن زمین، جهت قبله در نقطه T در امتداد کمان TK است که این کمان، قسمتی از دایره

شده است. کعبه در نقطه K با سمت الرأس Z نمایانده شده و ناظری در نقطه T با سمت الرأس Z' به سوی قبله ایستاده است.

در این حالت، برخلاف حالت زمین کروی شکل، قائم ژئودتیک در نقطه T (خط TZ')، قائم ژئودتیک در نقطه K (خط KZ) را قطع نمی کند، چه دو خط TZ' و KZ در یک صفحه قرار ندارند. بنابراین مقطع قائم ژئودتیک از نقطه T به نقطه K و مقطع قائم ژئودتیک از نقطه K به نقطه T برهم منطبق نیستند و در هر نقطه، دو مقطع قائم ژئودتیک موجود است (منحنیهای KCT و KDT)، وجود دو مقطع قائم ژئودتیک در نقطه T (محل ناظر) این ابهام را پیش می آورد که جهت قبله بر کدامیک از مقاطع قائم قرار می گیرد.

منحنی KDT ، فصل مشترک سطح شبه کره با صفحه قائم ژئودتیک در نقطه K ، است که از نقطه T می گذرد. این بدان معنی است که منحنی KDT و خط قائم ژئودتیک KZ در یک صفحه قرار دارند. همچنین منحنی KCT ، فصل مشترک سطح شبه کره با صفحه قائم ژئودتیک در نقطه T است که از نقطه K می گذرد، و این بدان معنی است که منحنی KCT و خط قائم ژئودتیک TZ' در یک صفحه قرار دارند. اما با توجه به آنچه که در مورد شکل (۳-۹) بیان شد، ناظر مستقر در T که بسوی کعبه می نگرد، خط دیدش در صفحه افقی ژئودتیک (صفحه عمود بر قائم ژئودتیک در نقطه T) قرار دارد و بعلت انحناى سطح، قادر به دیدن کعبه نیست و در صورتی که بتواند مسافتهای دور دست را ببیند، قسمت بالای قائم ژئودتیک کعبه را خواهد دید.

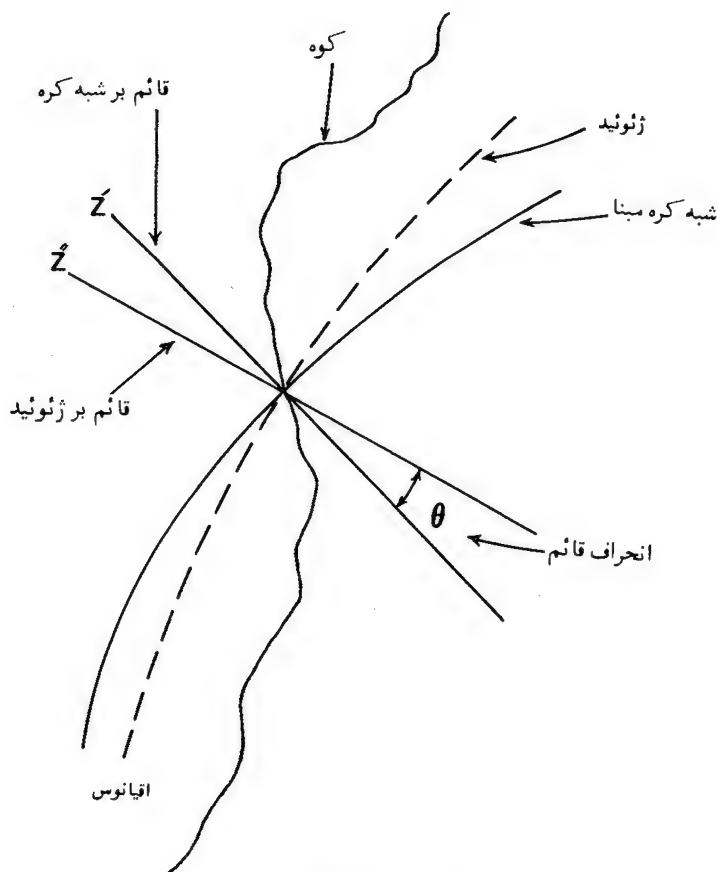
از آنجایی که ناظر از نظر ابعاد، موجود کوچکی است، لذا می توان آن را بعنوان یک نقطه، مانند T فرض کرد. لذا جهت قبله در نقطه T در امتداد منحنی KDT خواهد بود که مقطع قائم ژئودتیک کعبه از نقطه محل ناظر است. منحنی KCT را نمی توان بعنوان جهت قبله بکار برد، زیرا نمی شود خط KZ را بعنوان یک نقطه در K فرض کرد، چه، ناظر قادر به دیدن آن نیست.

حال که معلوم شد جهت قبله در امتداد منحنی KDT است، این سؤال باقی می ماند که چگونه می توان این جهت را در روش مورد نظر تعیین کرد.

صفحه قائم ژئودتیک نقطه K از T ، قائم ژئودتیک نقطه T را در بر ندارد. بنابراین، صفحه شامل منحنی KDT و خط KZ ، قائم ژئودتیک محل ناظر را در بر ندارد. در نتیجه، حتی اگر قائم ژئودتیک محل ناظر را درست داشته باشیم، نمی توان از سایه آن برای تعیین جهت قبله در تاریخهای محاسبه شده (هشتم خرداد، بیست و

پنجم تیر، بیست و چهارم دی و نهم آذرماه) استفاده کرد. بعلاوه، قائم ژئودتیک خود یک امتداد فیزیکی معین نیست و فقط از طریق محاسبات ژئودتیکی، می توان امتداد آن را نسبت به قائم بر سطح ژئوئید، تعیین کرد.

در شکل (۹-۵)، سه سطح مربوط به سه شکل مختلف زمین نمایانده شده است. سه سطح عبارتند از: شبه کره مبنا، زمین گون (ژئوئید) و توپوگرافیک. TZ' قائم بر سطح شبه کره مبنا و TZ'' قائم بر سطح ژئوئید، رسم شده است. دو قائم رسم شده بر هم منطبق نیستند. زاویه بین قائم بر سطح ژئوئید و قائم بر سطح شبه کره مبنا، انحراف قائم، θ ، نامیده می شود.



شکل (۹-۵) - انحراف قائم.

امتداد مناسبی که می توان در روش مورد نظر، سایه یک میله قائم را در راستای آن، برای تعیین سایه قرار داد، خطی است که از نقطه T ، در شکل (۴-۹)، طوری رسم شود که در صفحه قائم ژئودتیک نقطه K از T قرار گرفته باشد. اما قرار دادن یک میله در چنین صفحه ای بسادگی ممکن نیست. در عمل، امتداد فیزیکی را که می شود در روش بکار برد، امتداد خط شاقول است.

شاقول^۱ که برای همگان شناخته شده است، وسیله ای است که برای تعیین امتداد قائم در نقشه برداری، علوم مهندسی و در عملیات ساختمانی بکار گرفته می شود. شاقول از یک نخ و یک وزنه^۲ که به انتهای نخ وصل می شود، تشکیل شده است و زمانی که وزنه توسط نخ آویزان می شود، نخ در امتداد قائم قرار می گیرد.

اما وزنه شاقول بطرف مرکز ثقل^۳ زمین جذب می شود و بجانب مرکز هندسی^۴ آن جذب نمی گردد، بنابراین امتداد خط شاقول در جاهای مختلف بر روی زمین فرق می کند.

گاهی شاقول بر روی تخته باریکی نصب می شود که آن را خطکش شاقول^۵ نامند.

افق محسوس در یک نقطه، بعنوان صفحه مماس بر سطح زمین در آن نقطه و عمود بر امتداد شاقولی تعریف می گردد.

چون قرار است روش مورد نظر در سطح بین المللی بکار رود، لذا باید بهترین تقریب شکل زمین بکار گرفته شود. چنانکه در فصل هشتم بیان شد، چنین شکلی می تواند ژئوئید باشد که تقریباً بر سطح آرام آب اقیانوسها منطبق است.

اما وقتی که ناظری در ارتفاع زیادی نسبت به سطح دریا قرار دارد و یک شاقول را بکار می برد، در حقیقت او با سطح ژئوئید سروکار ندارد، بلکه سطح مورد نظر او می تواند سطح هم پتانسیل باشد و صفحه افق او افق نجومی است که بر امتداد شاقولی عمود بوده و یا بر سطح هم پتانسیل مماس است. همچنین در فصل هشتم بیان شد که وقتی قائم نجومی^۶ و صفحه قائم نجومی^۷، نسبت به سطح هم پتانسیل ناظر در نظر گرفته شوند به ترتیب ورتیکال^۸ و صفحه ورتیکال^۹ نامیده می شوند.

- 1.) Plumb Line (Plummet) 2. Plumb Hob 3. Center of Mass
4. Geometrical Center 5. Plumb Rule
6. Astronomic Normal 7. Astronomic Normal plane 8. Vertical
9. Vertical plane

زاویه‌ای که خط قائم بر سطح هم‌پتانسیل (ورتیکال) کعبه با سطح استوای آنی^۱ در لحظه رصد در کعبه، می‌سازد، عرض نجومی کعبه است—شکل (۱۴-۸) در فصل هشتم—.

لحظه‌ای که خورشید درست در ورتیکال کعبه قرار می‌گیرد، می‌بایست سایه امتداد نخ شاقول، در جاهای دیگر، برای تعیین امتداد قبله بکار رود. اما ورتیکال یک محل خاص، ممکن است ورتیکال کعبه را قطع نکند و یا عبارت دیگر امتداد خط شاقولی در آن محل، امتداد خط شاقولی کعبه را قطع نکند، در نتیجه، دو امتداد شاقولی در یک صفحه قرار نمی‌گیرد و لذا امتداد سایه نخ شاقول، دیگر امتداد دقیق قبله نخواهد بود. این مطلب بیشتر از هر نکته دیگری احتیاج به تحقیق گسترده دارد تا وقتی که روش، در سطح بین‌المللی بکار می‌رود، میزان دقت آن روشن باشد.

تا بحال با مطالعه‌ای که انجام داده‌ایم، امکان تعیین امتداد جهت قبله با سه روش، عملی است: یک روش از راه مثلثات کروی و با فرض اینست که زمین به شکل کره کامل باشد. روش دیگر با استفاده از محاسبات ژئودتیکی و با فرض بیضوی شکل بودن زمین است. روش آخر تعیین امتداد سایه یک شاقول در اوقات معین است. این روش، بر مبنای تعیین امتداد سایه نخ یک شاقول، بر روی افق محسوس یک نقطه استوار است، در حالی که خورشید بر ورتیکال کعبه قرار گرفته باشد. دیدیم که این روش دوبار در سال در بیشتر مناطق نیمکره شرقی و دوبار دیگر در بیشتر مناطق نیمکره غربی عملی است.

در طی این بحثها، مزایا و معایب هر روش، بیان شده و در اینجا به پاره‌ای از آنها اشاره‌ای می‌شود: محاسبات در روش تعیین قبله با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، ساده است اما فرض شکل زمین، بعنوان یک کره کامل، در مقایسه با سایر مدلها، دارای تقریب زیادی است. بعلاوه مختصات جغرافیایی که در این روش بکار می‌رود ممکن است بر مبنای شبه کره تعیین شده باشند و در این روش، عرض جغرافیایی به عرض زمین مرکزی^۲ و یا عرض کاهش یافته^۳، که در فصل هشتم تشریح شد، تبدیل نمی‌شود. این مطلب نیز خود نیازمند تحقیق است، تا معلوم شود اثر کاربرد مختصات مختلف تا چه حد است.

1. Instantaneous Equator

2. Astronomic Latitude

3. Geocentric Latitude

4. Reduced Latitude

محاسبات در روش ژئودتیک، پیچیده تر ولی فرض شکل زمین بصورت یک شبه کره پخت، دارای تقریب بهتری است.

اما روش مورد نظر تعیین سایه نخ شاقول در اوقات معین، روشی ساده است و هر کس می تواند آن را بکار گیرد. اما دقت کاربرد این روش در نقاط مختلف دنیا، هنوز تعیین نشده است.

تنها عیب این روش، شرایط جوی است که ممکن است هوا در وقت محاسبه شده، در محلی ابری باشد و مانع تعیین امتداد سایه گردد. مخصوصاً که در تاریخهای هشتم خرداد و بیست و پنج تیرماه در نیمکره جنوبی فصل زمستان در جریان است. و همچنین در تاریخهای بیست و چهارم دیماه و نهم آذر که در نیمکره شمالی فصل زمستان است و امکان تابش آفتاب در روزهای مربوط کمتر است. لذا رنگ صفحه ای که سایه نخ شاقول بر آن می افتد، می بایست از رنگهای روشن انتخاب گردد تا امکان تعیین سایه در تابش کم آفتاب ممکن تر باشد.

۶. پیشنهاد یک برنامه تحقیقات بین المللی

با توجه به آنچه که تا کنون بحث شد، یک برنامه تحقیقات در سطح بین المللی را می توان به شرح زیر پیشنهاد کرد:

۱. تعیین مختصات نجومی کعبه معظمه. در این اندازه گیری، در صورت دقت زیاد، می توان تغییرات عرض در اثر حرکات قطب را نیز در نظر داشت (مطلب شماره ۴، فصل اول).

۲. روشن ساختن این نکته که چندبار از گذشته تا به حال، خورشید دقیقاً بر روی ورتیکال کعبه (خط قائم بر صفحه هم پتانسیل کعبه) قرار گرفته است. این مطلب با مراجعه به جداول نجومی سالهای قبل ممکن می گردد.

۳. مطالعه بیشتر در زمینه اثر تصحیحات نجومی در نتیجه روش.

۴. انتخاب چند محل در سطح زمین با ارتفاع و ثقل مختلف در ممالک متعدد و تعیین قبله از سه راه مثلثات کروی، محاسبات ژئودتیک و تعیین امتداد سایه در اوقات معین. از مقایسه نتایج، دقت کلی روشهای مختلف، آشکار خواهد شد. چون ثقل یک منطقه در امتداد خط شاقول تأثیر می گذارد، لذا انجام این اندازه گیریها، می بایست به همراه مطالعات ثقل زمین صورت پذیرد.

در صورتی که نتیجه مطالعات نشان دهد که دقت روش تعیین جهت قبله از راه تعیین امتداد سایه یک شاقول در اوقات معین، در حد خوبی است، آنگاه ممالک مختلف می توانند با طرح یک برنامه عمومی و اعلام اوقات معین محاسبه شده بر حسب وقت استاندارد، از رادیوهای خود، مردم را به تعیین جهت قبله در خانه های خود دعوت کنند. همچنین در طی این برنامه، می توان جهات موجود قبله را که از سالیان پیش تعیین شده است، نیز کنترل کرد.

همچنین نتیجه تحقیقات، صحیح ترین روش تعیین جهت قبله را مشخص خواهد کرد که می توان آن را در تعیین جهت قبله بناها و مساجد جدید بکار گرفت.

انجام یک چنین برنامه تحقیقات در سطح بین المللی، نیازمند همکاری افراد مختلف است؛ از جمله، می توان از متخصصان نجوم، نقشه برداری، ژئودزی، جغرافیا و مهندسان و غیره نام برد. مطالب شرعی مطالعات هم می تواند توسط عالمان مسائل دینی مورد راهنمایی قرار گیرد. انجام این تحقیق در یک دانشگاه معتبر بین المللی میسر است.

مراحل مختلف تحقیقات مذکور در فوق، فقط مراحل اولیه است که در حال حاضر بنظر می رسد و در حین انجام تحقیقات ممکن است مراحل مختلف دیگری نیز آشکار گردد.

۷. کاربرد اساس روش، در ژئودزی

تغییر مداوم میل خورشید، نشانگر آنست که خورشید در هر لحظه دقیقاً بر روی سمت الرأس یک محلی بر روی زمین قرار می گیرد، البته این مطلب فقط برای مناطق واقع در بین دمدار $23^{\circ}/5'$ شمالی و $23^{\circ}/5'$ جنوبی صادق است.

بنابراین با تعیین میل خورشید از روی جداول نجومی، می توان بسادگی معین کرد که در چه موقعی خورشید دقیقاً بر روی سمت الرأس نقطه ای مانند A، با طول و عرض معین قرار می گیرد. آنگاه از نقطه دیگر با عرض و طول مشخص، بر روی زمین، مانند نقطه B، می توان جهت نقطه A از نقطه B را با استفاده از دو روش محاسبات مثلثات کروی و محاسبات ژئودتیکی بدست آورد. سپس نتایج بدست آمده را با امتداد سایه یک میله قائم در نقطه B، در لحظه مربوط، مقایسه کرد. تفاوت بین نتایج، نموداری از تفاوت موجود بین سطح هم پتانسیل و سطح کروی و بیضوی، در نقطه B

خواهد بود.

۸. تذکر

پاره‌ای از خوانندگان نکته‌سنج ممکن است بر این باور باشند، که در نظر گرفتن چنین مطالب دقیق علمی آنهم در تعیین جهت قبله مورد نیاز نباشد. موضوع تعیین قبله یک بحث علمی است و در یک تحقیق علمی، نهایت دقت در کلیه موارد، اصلی لازم الاجراست و ساده‌اندیشی مبنایی ندارد. متأسفانه موضوع قبله‌یابی در اغلب کشورهای اسلامی دچار ساده‌اندیشی شده است. دانشمند جهانی، ابوریحان بیرونی جهت قبله غزنین را در ده قرن قبل در نهایت دقت تعیین کرده است، اما امروز مشاهده می‌شود که اشتباهات موجود در جهت قبله پاره‌ای از مساجد و ابنیه اسلامی غیر قابل اغماض است.

جا دارد موضوع قبله‌یابی در یک دانشگاه معتبر بین‌المللی مورد تحقیق و بررسی همه‌جانبه قرار گیرد.

روش‌های ساده موجود در کتاب

این کتاب تا حد امکان برای استفاده همگان تهیه شده است. و لذا افرادی ممکن است حوصله و وقت خواندن کلیه فصلها و بخشهای کتاب را پیدا نکنند و با این وجود علاقه‌مند باشند که با روشهای ساده‌ای، جهت قبله را پیدا کنند. تفصیل مطالب در این کتاب، بیشتر بعلت آماده شدن برای فهم فصل نهم است که یک برنامه تحقیقات بین‌المللی را مطرح می‌سازد.

در این فصل مطالبی از کتاب که با استفاده از آنها، می‌توان بسادگی جهت قبله را تعیین کرد، مشخص می‌شود تا خواننده، با مراجعه به آنها بتواند براحتی از کتاب استفاده کند.

راهنمای استفاده از روشهای آسان کتاب، در قبله‌یابی:

برای تعیین جهت قبله باید مراحل زیر انجام گیرد:

۱. تعیین مختصات جغرافیایی محل — مختصات جغرافیایی محل را می‌توان از روی نقشه‌ها و یا اطلسهای جغرافیایی بدست آورد. در این مورد می‌شود به مطالب شماره (۲-۲) و (۲-۵) در فصل اول کتاب مراجعه کرد.
۲. تعیین مختصات جغرافیایی کعبه معظمه — تا تعیین دقیق مختصات جغرافیایی کعبه معظمه، می‌توان از مختصات داده شده در مطلب شماره (۴) در فصل پنجم استفاده کرد.

۳. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل — این مطلب به تفصیل در فصل دوم بیان شده است. روشهای آسان آن در مطالب شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷

و ۸ فصل دوم داده شده است.

۴. تعیین جهت قبله با روش ترسیمی — با در دست داشتن مختصات جغرافیایی محل و تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در محل، می توان جهت قبله را از راه ترسیمی با استفاده از روش داده شده در مطلب شماره (۵-۲)، در فصل پنجم، تعیین کرد.

در اینجا باید توجه داشت که برحسب فاصله نقطه مورد نظر تا مکه و چگونگی وضعیت قرارگیری محل بر روی زمین، نسبت به مکه، نتیجه روش ترسیمی ممکن است تا حدی در خطا باشد. لذا باید نکات ذکر شده در مطلب شماره (۵-۲) در فصل پنجم مورد توجه قرار گیرد.

۵. تعیین جهت قبله با استفاده از سایه یک میله قائم در اوقات معین: جهت قبله را می توان از راه تعیین امتداد سایه یک میله قائم — دوبار در سال — در اوقات معین در نیمکره شرقی و دوبار دیگر در نیمکره غربی بدست آورد. تفصیل این روش، در مطلب شماره (۵-۵) فصل پنجم و در مطلب شماره ۳ فصل نهم، آمده است. اما قبل از کاربرد این روش در سطح بین المللی، می بایست دقت روش، مورد تحقیق قرار گیرد (فصل نهم).

۶. قبله نمای رزم آرا — قبله نمای رزم آرا که در مطلب شماره (۵-۶)، فصل پنجم، تشریح شده است، در مسافرت، وسیله بسیار خوبی است، اما بعلت استفاده از عقربه مغناطیسی، می بایست بدور از آهن آلات، وسایل برقی و میدانهای مغناطیسی دیگر از آن استفاده کرد.

۷. تعیین قبله با استفاده از یک کره جغرافیایی: چنانکه یک کره جغرافیایی خوب و دقیقی در دسترس باشد، می توان از آن برای تعیین جهت قبله استفاده کرد. تفصیل روش در مطلب شماره (۵-۴)، در فصل پنجم بیان شده است.

پایان نسخه دستنویس کتاب — مردادماه ۱۳۶۳

فهرست منابع

۱. استروو، اتو (Otto Struve)، مبانی نجوم، ترجمه ح. زمردیان و ب. حاجبی، تهران، دانشگاه تهران، ۱۳۵۸.
۲. بغایری، عبدالرزاق، معرفة القبلة، تهران، ۱۳۷۱ ق.
۳. جعفری، عباس، فرهنگ گیتاشناسی (اصطلاحات جغرافیایی)، چ ۱، تهران، گیتاشناسی، ۱۳۶۰.
۴. جعفری، عباس، نقشه خوانی گیتاشناسی، چ ۱، تهران، گیتاشناسی، ۱۳۶۳.
۵. دانشگاه تهران، مؤسسه ژئوفیزیک، جداول میل مغناطیسی، ۱۳۴۲.
۶. دگانی، مایر (Meir Degani)، نجوم به زبان ساده، ترجمه م. ر. خواجه پور، تهران، گیتاشناسی، ۱۳۶۱.
۷. رزم آرا، حسینعلی، رساله قبله نمای رزم آرا، چ ۶، تهران، ۱۳۴۴.
۸. ریاضی کرمانی، ع.، حل المسایل نجوم، مثلثات کروی، تمرینات، جداول نجومی، تهران، دانشگاه تهران، ۱۳۴۵.
۹. ریاضی کرمانی، ع.، مقدمه ای بر نجوم عالی، تهران، دانشگاه تهران، ۱۳۵۰.
۱۰. علی احیایی، ماشاء الله، ساعتهای خورشیدی، اصول و راهنمای ساخت، تهران، امیرکبیر، ۱۳۶۴.
۱۱. علی احیایی، ماشاء الله، جهت یابی و قبله یابی با روشهای آسان، تهران، امیرکبیر، ۱۳۶۴.
۱۲. واژگان فیزیک، زیر نظر سید محمد امینی، تهران، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۶۱.

13. Ali-Ahyaie, M., "*Using the International Communication and Timing Systems to Determine the Direction of 'Kiblah' Simultaneously in the World*," Unpublished, 1984.
14. Ali-Ahyaie, M., "*An International Research Program to Study the Effect of the Actual Shape of the Earth in Finding the Direction of 'Kiblah'*", Unpublished, 1984.
15. Ali-Ahyaie, M., "*Generalizing the Formula of Conversion of Standard Mean Time into Solar Time, According to Practical Astronomy*", Unpublished, 1984.
16. Ali-Ahyaie, M. "The Best Method of Using Sundials as Solar Compass" *Sun at work in Britain*, No. 19, 1984.
17. Ali-Ahyaie, M., "Determination of Longitude and Latitude in Remote Locations with Simple Devices," *Sunworld*, vol. 7, No. 3, Fall 1983.
18. Ali-Ahyaie, M., "Solar Compass, Determining True North by Sundials", *Sunworld*, Vol. 7, No. 4, Winter 1983.
19. Beiser, Arthur, *The Earth*, New York, Time Incorporated, 1962.
20. Brown, Martin, F. & Bailey Wayne, *Earth Science*, General Learning Press (U. S. A.), 1978.
21. Duffie, John, A. and Beckman, William, A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, A Wiley-Interscience Publication, New-York, John Wiley and Sons, 1980.
22. Degani, Meir H., *Astronomy Made Simple*, New York, Doubleday & Company Inc., 1976.
23. *Encyclopedia Americana*, 1975.
24. *Encyclopedia of Science and Technology*, McGraw-Hill Book Company.
- 25.) Harrison, P. L., "A Device for Finding True North," *Solar Energy*, vol. 15, 1974, PP. 303-308.
- 26.) Higgins, Kathleen, "The Classification of Sundials," *Annals of Science*, VOL. IX, NO. 4, PP. 245-358, 1953.
27. Emrys, Jones, *The Atlas of World Geography*, London, Sundials Books Limited, 1977.

28. Kreider, Jan, F., and Kreith, F. *Solar Energy Handbook*, "Mc-Graw-Hill Inc., 1981.
- 29.) Mayall, R. Newton and Mayall, W. Margaret, "*Sundials: How To Know, Use and Make Them*," 2nd ed., Cambridge, Sky Publishing Corporation, Cambridge, Massachusetts, Second Edition, 1973.
- 30.) Mueller, Ivan I., *Spherical and Practical Astronomy as Applied to Geodesy*, New York, Fredrick Ungar Publishing CO., 1969.
31. Newman, James R., *The Harper Encyclopedia of Science*, Harper and Row Publishers.
32. Punmia, B. C., *Field Astronomy and Photogrammetric Surveying*, (Surveying, V. III) 5th ed., Delhi Standard Book House, 1981.
33. Rapp, Donald, *Solar Energy*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall Inc., 1981.
34. Shahani, P. B., "*Advanced Surveying*," 2nd ed., New Delhi, Oxford and IBH Publishing CO., 1981.
35. Struve, Otto, *Elementary Astronomy*, New York, Oxford University Press Inc., 1968.
36. Waugh, Albert E., *Sundials-Their Theory and Construction*, New York, Dover Publications Inc., 1973.
37. Wienert, K. A., *Earth Science 5, Geomagnetic Observatory and Survey Practice*, Unesco, 1970.

فهرستِ اعلام

آ

آب گردانِ بزرگ ۷۶، ۷۸

آب گردانِ کوچک ۷۸

آتن (جهت قبله) ۱۸۲

آدلاید (جهت قبله) ۱۹۰

آرام (اقیانوس) ۲۲۳

آستروئید ۳۳۹

آلفا-دب اصغر ۷۹، ۱۰۸

آلفا-قنطورس ۸۸

آنالماتیک (ساعت خورشیدی) ۱۲۲

آنومالیستیک

ماه ۳۱۷

سال ۳۱۸، ۳۱۹

آنی

محور چرخشی ۴۳۱، ۴۳۵

استوای ۴۳۱، ۴۳۵

آهن ربا ۶۲

الف

اتمسفر

اثر پوششی و ذخیره‌ای ۲۹۳

اختلاف منظر ۳۳، ۹۳، ۳۴۸

تصحیح ۳۴۸

خورشید در افق ۳۵۰

زاویه ۲۷۵

ارابه (صورت فلکی) ۷۸

ارتفاع ۲۵۰، ۲۶۵

ارتومتریک ۴۳۶

حول نصف النهار ۳۳

خورشید در لحظه عبور از نصف النهار ۲۵

دایره ۲۴۷

ژئودتیک ۴۲۶

شاخص ۱۱۲

ظاهری ۳۵۰، ۳۵۱

قطب سماوی ۲۳

نصف النهاری ۳۲، ۳۳، ۲۰۱

نصف النهاری خورشید ۲۹۶

واقعی (حقیقی) ۳۵۰، ۳۵۱

اژدها (تنین) ۸۱

اسب و سوار ۷۷

استار ۳۲۹

استکهم (جهت قبله) ۱۸۴

استرلاب ۳۴۸

اسد (شیر) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴

استوا

خط ۲۱، ۷۱

دایره ۲۱

استوای

آنی ۴۳۱، ۴۳۵، ۴۵۱

ژئودتیک ۴۲۱

شاقول ۴۵۰	زمینی میانگین ۴۳۵
شمال و جنوب جغرافیایی ۵۱	سماوی ۲۲۲
شمال و جنوب واقعی ۵۱	کروی ۴۱۸
انحراف	استوایی مستقل
مغناطیسی ۲۱۱، ۶۵	دستگاه مختصات ۲۶۸، ۲۶۵
قائم ۴۴۹	استوایی وابسته
انحراف سطح مغناطیسی ۶۶	دستگاه مختصات ۲۷۰، ۲۶۵
انحنای برگشته ۴۲۶	اعتدال
انعکاس دوگانه ۳۴۷	بهاری (بهاره) ۲۹۳، ۲۵۷، ۴۸
انقلاب	پاییزی (پائیزه) ۲۹۱، ۲۵۸، ۲۲۵
تابستانی ۲۹۱، ۲۵۸، ۲۲۹	دایره ۲۵۹
دایره ۲۵۹	اعتدالی (سال) ۳۱۸
زمستانی ۲۹۳، ۲۵۸، ۲۲۸	اعتدالین
انواع ساعتهای خورشیدی ۱۰۳	حرکت تقدیمی ۳۰۲
انورفقدان (ستاره) ۸۰	افق
اورانوس ۳۳۹	حقیقی ۳۵۰، ۲۴۲
اوج ۳۳۳، ۲۹۰	ژئودتیک ۴۴۸، ۴۲۱
خورشیدی ۲۹۰	سماوی ۳۵۰، ۲۴۲
ماه ۳۳۳	شیب ۲۴۶
اهله قمر (فازهای ماه) ۳۲۵، ۳۱۶، ۹۰	ظاهری ۲۴۶
ب	قرارگرفتن ستاره در ۲۸۴
باربر (صورت فلکی) ۸۷	کروی ۴۱۹
بتا - دب اصغر ۸۰	محسوس ۴۵۰، ۳۵۰، ۲۴۵
بتا - قنطورس ۸۸	مرئی ۲۴۶
بدر (ماه شب چهاردهم) ۳۲۵، ۳۱۶، ۹۰	نجومی ۴۳۴، ۲۴۲
برج ۳۴۲	افقی
اسد (شیر) ۳۴۴، ۱۳۷	دستگاه مختصات ۲۶۵
بره (حمل) ۳۴۲، ۱۳۷	اقیانوس آرام ۲۲۳
بز (جدی) ۳۴۴، ۱۳۷	اکتات ۳۴۷
ترازو (میزان) ۳۴۴، ۱۳۷	اکلیپتیک
ثور (گاو) ۳۴۲، ۱۳۷	دایره ۲۸۷، ۲۷۲، ۲۵۵، ۲۰۰
جدی (بز) ۳۴۴، ۱۳۷	قطبهای ۳۰۲، ۲۷۳، ۲۵۶
	امتداد

بهرام (مریخ) ۳۱۶، ۳۲۸، ۳۳۹

پ

پارالاکس (اختلاف منظر) ۳۳، ۹۳، ۳۴۸

پارسک ۳۳۷

پای قنطورس ۸۸

پرسیون (حرکت) ۲۹۹

پرنامبوکو (جهت قبله) ۱۸۹

پلوتو ۳۳۹، ۳۴۲

پهن شدگی زمین ۲۳، ۳۶، ۲۶۱، ۲۹۰

ت

تاهیتی (جزیره) ۲۲۳

تئودولیت ۲۷۴، ۳۴۷

تثلیث ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۶

ترانزیت ۳۴۷

تربیع آخر ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۷

تربیع اول ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۶

ترسیم بیضی ۱۲۸

تصحیح اختلاف منظر ۳۴۸، ۴۴۵

تصحیح شکست نور ۳۴۸، ۳۵۱، ۴۴۵

زاویه ۳۵۲

تصحیح شیب افق ۳۴۸، ۳۵۴

تصحیح طول جغرافیایی ۴۲، ۴۰۶

تصحیح نیم قطر ۳۴۸، ۳۵۶، ۴۴۵

تصحیحات نجومی ۳۳، ۳۴، ۳۴۸، ۴۴۵

تصویر استوانه‌ای (مرکاتور) ۱۹۴

تعادل دینامیکی ۳۰۲

تعديل زمان (معادله زمان) ۴۲، ۳۸۴

جدول ۳۹۶، ۳۹۷

تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی ۲۷

تعیین طول جغرافیایی ۴۰

تعیین عرض جغرافیایی ۲۳

جوزا (دوپیکر) ۱۳۷، ۳۴۲

حمل (بره)، ۱۳۷، ۳۰۷، ۳۴۲

حوت (ماه‌ی) ۱۳۸، ۳۰۷، ۳۴۴

دلو (دول) ۱۳۸، ۳۴۴

سرطان (خرچنگ) ۱۱۹، ۱۳۷، ۳۴۲

سنبله (خوشه) ۱۳۷، ۳۴۴

عقرب (کژدم) ۱۳۷، ۳۴۴

قوس (کمان) ۱۳۷، ۳۴۴

میزان (ترازو) ۱۳۷، ۳۴۴

برج‌های دوازده‌گانه ۱۳۳، ۱۳۷، ۱۹۹، ۳۴۲
برجی

سال ۳۱۰، ۳۱۸

ماه ۳۱۶

برجیس (مشتري) ۳۱۶، ۳۳۹

بعد ۳۴، ۲۵۸، ۲۶۸، ۳۶۸

بغایری (سرتیپ مهندس عبدالرزاق) ۱۶۸،
۲۱۰

بمبئی (جهت قبله) ۱۷۹

بنات‌النش صغری ۸۰

بوگوتا (جهت قبله) ۱۸۸

بیضوی ۳۷، ۴۱۰

دوار ۴۱۰

دو محوره ۴۱۰

سه محوره ۴۱۰

مبنا ۴۱۶

بیضویت ۲۶۱، ۲۸۹

بین‌الطلوعین ۳۱۴

بیضی ۱۲۸

ترسیم ۱۲۸

خروج از مرکز ۲۸۹

قطر اطول ۲۸۹

قطر اقصر ۲۸۹

وسیله ترسیم ۱۳۰

جزر و مد ۳۸۲	تغییرات عرض جغرافیایی ۳۷
جغرافیایی	تقدیمی (حرکت) ۲۹۹
جنوب ۵۲	تمایل ۲۵۶
عرض ۲۲، ۲۳، ۲۵۰	تقویم ۳۰۹
طول ۲۲، ۲۵۰	جولیوسی ۳۲۲
طول و عرض ۲۲	شمسی ۳۲۱
قطبهای ۲۱، ۶۴	قمری ۳۲۰
جنوبگان ۷۵، ۲۲۸، ۲۶۳	قمری شمسی ۳۲۱
جنوب واقعی ۵۱، ۵۴، ۲۴۸	گرگوری ۳۱۸، ۳۲۳، ۳۲۵
جوزا (دوپیکر) (برج) ۱۳۷، ۳۴۲	نجومی دریانوردی ۲۹۶
جولیوسی (تقویم) ۳۲۲	تنین (ازدها) ۸۱
جون ۷۷	تواموتو (مجمع الجزایر) ۲۲۳
جهات اصلی ۵۲	تهران (جهت قبله) ۱۶۹
جهات چهارگانه ۵۲	تیر (عطارد) ۳۱۶، ۳۲۸، ۳۲۹، ۳۳۹، ۳۴۶
جهات فرعی ۵۳	ث
جهت شمال ۵۲	ثابت حرکت تقدیمی ۳۰۶
جهت قبله ۱۶۸	ثابت رقص محوری ۳۰۷
جهت یاب خورشیدی ۱۳۶، ۱۴۱، ۱۴۲	ثانیة ۳۱۸، ۳۶۳، ۳۸۱، ۳۸۴
جهت یاب ژیروسکویی ۱۱۰	اتمی ۳۶۳، ۳۸۵
جهت یابی ۵۱	تقویمی ۳۶۳، ۳۸۴
چ	شمسی متوسط ۳۶۳، ۳۷۸
چشمک زدن ستارگان ۳۳۸، ۳۵۴	متوسط ۳۷۸
چنگ رومی (صورت فلکی) ۳۰۳، ۳۰۷	نجومی ۳۶۵، ۳۷۹
ح	ثعبان (ذیخ) ۳۰۳
حاره (منطقه) ۲۶۳	ثوابت ۳۳۷
حاشیه خارجی ماه ۳۲۶	ثور (گاو) (برج) ۱۳۷، ۳۴۲
حالات ماه ۳۲۵	ج
حد دوری و نزدیکی	جدول نجومی ۳۲، ۲۹۶
خط ۲۹۱، ۲۹۲	جدی (برج) ۱۳۷، ۳۴۴
حرکت	جدی (ستاره قطبی) ۳۲، ۷۰، ۷۹، ۳۰۳، ۳۰۷
انتقالی زمین ۸۶، ۲۰۰، ۲۲۳، ۲۸۸	جذب گرانشی ۳۰۲

قرارگیری ستاره در ۲۸۴	۲۸۹، ۲۹۰
خارطوم (جهت قبله) ۱۸۱	پرسیون ۲۹۹
خرچنگ (سرطان) (بُرج) ۱۱۹، ۱۳۷، ۳۴۲	تقدیمی ۲۹۹
خرسِ بزرگ ۷۸، ۷۶	تقدیمی اعتدالین در اثر ماه و خورشید ۳۰۲
خرسِ کوچک ۷۸	تقدیمی سیاره‌ای ۳۰۸
خراطوم (جهت قبله) ۱۸۱	تقدیمی عمومی ۳۰۹
خروج از مرکز	دورانی ظاهری ۳۶۴
اولیه ۴۱۱	سالانه زمین ۲۸۸
بیضی ۲۸۹	ظاهری ۳۳
ثانویه ۴۱۱	ظاهری خورشید ۲۸۸
خسوف (ماه گرفتگی) ۳۲۸، ۳۳۵	ظاهری روزانه ۸۲
خط	ظاهری روزانه خورشید ۷۰، ۲۸۸، ۲۹۴
استوا ۲۱، ۷۱	ظاهری روزانه دب اکبر ۸۲، ۸۵
اعتدالین ۲۹۲، ۲۹۳	ظاهری سالانه ۸۲
اقلاب زمستانی و تابستانی ۲۹۱، ۲۹۳	ظاهری سالانه خورشید ۲۸۸، ۲۹۴
بین‌المللی تاریخ ۲۲، ۴۰۲	ظاهری سالانه دب اکبر ۸۵
ژئودزیک ۴۲۶	تهقراپی گره ۳۳۱
حد دوری و نزدیکی ۲۹۱، ۲۹۲	تهقراپی مدار ماه ۳۰۶، ۳۳۱
منحنی ژئودزیک ۴۲۴	لرزشی زمین ۳۹، ۲۴۴
نصف‌النهار ۵۱، ۲۴۸	مداری زمین ۲۸۸
خطوط نیروی مغناطیسی ۶۲	مستقیم سیاره ۳۴۰
خورشید ۲۸۵	معکوس سیاره ۳۴۰
ارتفاع نصف‌النهاری ۲۹۴	واقعی زمین ۲۸۸
حرکات ظاهری ۲۸۷، ۲۹۴	وضعی زمین ۳۳، ۲۸۸
حرکت ظاهری روزانه ۷۰، ۲۸۷، ۲۹۴	حضيض ۲۹۰، ۳۳۳
حرکت ظاهری سالانه ۲۸۷، ۲۹۴	خورشیدی ۲۹۰، ۳۶۱
شکست نور ۳۶۱	ماه ۳۳۳
عبور از سطح نصف‌النهار اصلی ۹۶	حمال (صورت فلکی) ۸۷
غروب (محاسبه) ۹۷، ۲۸۴	حمل (بره) (بُرج) ۱۳۷، ۳۰۷، ۳۴۲
فاصله اوج ۳۳۳	حوت (ماه‌ی) (بُرج) ۱۳۸، ۳۰۷، ۳۴۴
فاصله حضيض ۳۳۳	
قطر ۲۸۶	خ
قطر زاویه‌ای ۳۳۳	خارج نصف‌النهار

دستگاه مختصات ۲۷۲	گرفتگی ۲۸۷، ۳۲۸، ۳۳۲
قطب جنوب ۲۵۶	گرفتگی جزئی ۳۳۳، ۳۳۵
قطب شمال ۲۵۶	گرفتگی حلقه ای ۳۳۳، ۳۳۴
دب اصغر ۷۸، ۳۰۳	گرفتگی کامل ۳۳۳
دب اکبر ۷۶، ۳۰۳	گرفتگی مرکزی ۳۳۳
دُبِه ۷۶	متمم میل ۳۶۰
دجاجه (صورت فلکی) ۳۰۳	محاسبه طلوع و غروب ۹۷
درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی ۱۱۱	میانگین (متوسط) ۴۳، ۳۱۱، ۳۷۸
درون یابی (خطی) ۲۹۷، ۳۹۹	میل ۲۹۷
دستگاه مختصات	جدول ۳۰۰، ۳۰۱
استوایی (معدلی) مستقل ۲۶۵، ۲۶۷	نیم قطر ۳۵۶، ۳۵۷
استوایی (معدلی) وابسته ۲۶۵، ۲۷۰	نیمه شب ۳۶۰
افقی ۲۶۵	وضعیت های ظاهری در فصول مختلف ۲۹۴
دایرة البروج ۲۷۲	خورشیدی
زمینی ۲۶۱	روز ۳۱۰
عرض و طول سماوی ۲۶۵، ۲۷۲	خوشه (ستاره ای) ۳۳۷
کهکشانی ۲۶۵، ۲۷۴	
میل و بعد ۲۶۸	د
میل و زاویه ساعتی ۲۷۰	دایره
نجومی ۲۶۳	ارتفاع ۲۴۷
دقیقه	استوا ۲۱، ۲۴۲
شمسی متوسط ۳۷۹	اعتدال ۲۵۹
متوسط ۳۷۸	انقلاب ۲۵۹
نجومی ۳۶۵، ۳۷۹	اولیه مبنا ۲۶۳، ۲۶۶، ۲۷۰، ۲۷۲
دلو (برج) ۱۳۸، ۳۴۴	اکلیپتیک ۲۰۰، ۲۵۵، ۲۸۷، ۲۸۸
دویکمر (جوزا) (برج) ۱۳۷، ۳۴۲	ثانویه مبنا ۲۶۳، ۲۶۶، ۲۷۰، ۲۷۲
دور قطبی (ستارگان) ۸۲، ۸۸، ۲۷۶	ساعتی ۲۵۲، ۲۷۰
دوره ۳۶۲	عظیمه ۱۴۴، ۴۰۹
دوره متونیک ۳۲۱	عمودی ۲۴۷
دول (دلو) (برج) ۱۳۸، ۳۴۴	صغیره ۱۴۴
ذ	میل ۲۵۲، ۲۷۰
ذات الكرسي ۸۱، ۸۳	دایرة البروج ۲۰۰، ۲۵۵، ۲۷۲، ۲۸۷، ۲۸۸
	۲۸۸

- ۳۷۹ شمسی متوسط
 ۳۸۵ کوارتز
 ۳۷۸ متوسط
 ۳۷۹، ۳۳، ۳۶۵ نجومی
 ۳۷۱، ۱۱۱، ۱۰۳، ۴۲ ساعت خورشیدی
 ۳۹۳، ۳۷۶
 ۱۲۲ آنالمتیک
 ۱۱۱، ۱۰۳ ارتفاعی
 ۱۳۳ ارتفاعی افقی
 ۱۴۲ استوایی
 ۱۱۱ افقی
 ۱۲۲ با مرکز متغیر
 ۱۴۰، ۱۳۶، ۱۰۳ ترکیبی
 ۱۱۱، ۱۰۴ جهتی
 ۱۴۲ چندحلقه‌ای
 ۱۱۹ سمتی افقی
 ۱۰۳ قابل حمل
 ۱۳۰، ۱۲۲ لامبرت
 ۳۱۷ سال
 ۳۱۹، ۳۱۸ آنومالیستیک
 ۳۸۴، ۳۱۸ اعتدالی
 ۳۸۴، ۳۱۰ برجی
 ۳۳۲ خسوف و کسوف
 ۳۸۴ شمسی
 ۳۱۸ فصلی
 ۳۱۸ نجومی
 ۳۳۷، ۳۱۹ نوری
 ۱۸۵ سانفرانسیسکو (جهت قبله)
 ۳۳۶ ستاره
 ۲۸۴ در افق
 ۲۸۴، ۱۰۹ در خارج نصف النهار
 ۲۷۸ در حال عبور
 ۲۸۰، ۱۰۶ در وضعیت دورترین فاصله
- ۴۲۸ ژئوپ
 ۴۲۸ ژئوپتانسیل (سطح)
 ژئودتیک
 ۴۲۶ ارتفاع
 ۴۲۱ استوای
 ۴۴۸، ۴۲۱ افق
 ۴۲۶، ۴۲۴ سمت
 ۴۲۴ سمت مقطع قائم
 ۴۲۲ شعاع
 ۴۲۴ صفحات قائم
 ۴۲۱ طول
 ۴۲۱ عرض
 ۴۲۱ قائم
 ۴۲۱ قطب جنوب
 ۴۲۱ قطب شمال
 ۴۲۱ قطبهای
 ۴۲۱، ۴۱۷ مختصات
 ۴۲۱ مدار
 ۴۲۱ مدارات
 ۴۲۴، ۴۲۲ مقطع قائم
 ۴۲۱ نصف النهارات
 ۴۰۹، ۱۶۸ ژئودزی
 ژئودزیک
 ۴۲۶ خط
 ۴۲۴ خط منحنی
 ۱۱۰ ژيروسکوپ
- س
 ۳۳۱ ساروز
 ساعت
 ۳۸۵، ۳۱۸ اتمی
 ۳۸۵ پاندولی
 ۳۷۱ شمسی ظاهری

- اختلافِ منظر ۲۷۵
تصحیح شکست نور ۳۴۸، ۳۵۱
در جرمِ سماوی ۲۷۵
در سمت الرأس ۲۷۵
در قطبِ سماوی ۲۷۵
ساعتی ۳۴، ۹۱، ۱۰۸، ۱۱۵، ۲۵۴، ۳۶۸، ۲۷۰
کروی ۱۴۶
- زیرین
- سیارات ۳۳۹
مقارنه ۳۳۹
زحل (کیوان) ۳۱۶، ۳۳۹
زمان
اتمی ۳۶۲، ۳۸۱
اندازه گیری و تعیین ۳۶۲
دورانی ۳۶۳
مقیاس های ۳۶۳
زمان سنج (کرونومتر) ۴۸
زمین
پهن شدگی (فشردگی) ۲۳، ۳۶، ۲۶۱، ۲۹۰
حرکت لرزشی ۳۹
دایره استوای ۲۴۲
دستگاه مختصات ۲۶۱
شعاع ۱۵۲
شکل ۲۳، ۳۶، ۳۷، ۴۰۹
فشردگی ۲۳، ۲۶۱
قطبهای ۲۴۲
مرکز ثقل ۱۴۵
مناطق ۲۶۱
زمین گون ۴۱۷، ۴۲۸، ۴۲۹
زهره (ناهید) ۲۸۵، ۳۱۶، ۳۲۹، ۳۳۹، ۳۴۶
زیرین
- دروضعیت سطح نصف النهار اصلی ۲۸۲
دنباله دار ۳۳۹
دور قطبی ۸۲، ۸۸، ۳۶۰
فاصله زاویه ای ۲۸۴
قطبی ۳۲، ۷۰، ۷۸، ۳۰۳، ۳۰۷
ذنب الدجاجة (ستاره) ۳۰۳
ذیخ (ثعبان) ۳۰۳
- ر
- راه شیری (کهکشان) ۳۳۷، ۳۴۵
راه کاهکشان (کهکشان) ۳۴۵
راه مکه (کهکشان) ۳۴۵
رأس الجدی (مدار) ۷۴، ۲۶۳، ۲۹۳
رأس السرطان (مدار) ۷۲، ۲۶۳، ۲۹۱
رَجَل قنطورس ۸۸
رزم آرا (سرتیپ حسینعلی) ۱۶۸، ۲۰۸
رزم آرا (قبله نما) ۲۰۸
رسایف (پرنامبوکو) (جهت قبله) ۱۸۹
رسم بیضی ۱۲۸
رقص محوری ۲۹۹
روز ۳۱۰
خورشیدی ۳۱۰
ستاره ای ۸۳
شمسی حقیقی (ظاهری) ۳۱۰، ۳۷۱
شمسی متوسط ۳۱۱، ۳۷۸
طبیعی ۳۱۰، ۳۱۲
نجومی ۴۸، ۸۳، ۳۱۱، ۳۶۴، ۳۷۲، ۳۷۹
نجومی متوسط ۳۱۱
ریاضی کرمانی (عباس) ۱۶۸
- ز
- زاویه

سیارات ۳۳۹	استوایی ۲۴۴
مقارنه ۳۳۹	عرض ۲۷۲
	طول ۲۷۳
	قطبهای ۲۴۴
ژ	کره ۲۶۴، ۲۶۳، ۲۳۹
ژئوئید ۴۱۷، ۴۲۸، ۴۲۹، ۴۳۵	محور ۲۴۴
فاصله قطبی ۷۹، ۱۰۹	نصف النهار ۵۱
ستارگان	سمت ۲۵۲، ۲۶۵
چشمک زن ۳۳۸، ۳۵۴	ژئودتیک ۴۲۴، ۴۲۶
حول (دور) قطبی ۳۳، ۱۰۶، ۲۷۶	خورشید (محاسبه) ۹۱
دوتایی ۳۳۰	کروی ۴۱۹
دور قطبی ۸۲، ۸۸، ۳۶۰	مقطع قائم ژئودتیک ۴۲۴
دور قطبی جنوبی ۸۸	نجومی ۴۳۴
دور قطبی شمالی ۸۲	سمت الرأس ۲۴۲
سرعت	فاصله ۳۲، ۳۴، ۲۵۱، ۲۶۵، ۲۶۷
حرکت انتقالی زمین ۲۸۸	۲۶۸، ۲۷۵، ۲۷۸
حرکت چرخشی زمین در استوا ۳۰۲	مکه ۲۰۱، ۴۳۷
۳۳۵	سمت القدم ۲۴۲
حرکت ماه در مدار ۳۳۵	مکه ۲۰۸، ۴۴۲
سرطان (خرچنگ) (برج) ۱۱۹، ۱۳۷، ۳۴۲	سنبله (خوشه) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴
سرگردانی قطب ۴۰	سُها ۷۷
سطح	سیارات ۳۳۷
استوای آنی ۴۳۱	اندازه زاویه ای ۳۳۸
ژئوپتانسیل ۴۲۸	زیرین ۳۳۹
مبنای نجومی ۴۳۱	زیرین ۳۳۹
نصف النهار اصلی ۳۴، ۹۶، ۲۴۸، ۲۶۶	سیارک ۳۳۹
۲۸۲	سیاره ۳۳۷
وضعیت ستاره در ۲۸۲	
هم پتانسیل ۴۲۸، ۴۳۱، ۴۵۰	ش
سفلی	شاخص ۱۱۵
مقارنه ۲۸۵	سیمی ۱۱۷
سکستانت ۲۹۷، ۳۴۷، ۳۵۴	شاقول ۴۵۰
سگ بزرگ (صورت فلکی) ۳۱۷	شاه تخته (صورت فلکی) ۸۷
سماوی	

شیر (اسد) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴	شب چهارده (ماه) ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۵
ص	شبه کره (کره پهن شده) ۳۷، ۲۶۰، ۴۱۰
صفحات قائم	پخت ۳۰۲، ۴۱۰، ۴۴۷
ژئودتیک ۴۲۲، ۴۲۴	کشیده ۴۱۰
کروی ۴۱۹، ۴۲۴	شباهنگ (شعرای یمانی، کاروان کش) ۳۱۷
نجومی ۴۳۴	شتاب ۳۷۹
صفحه قائم کروی ۴۱۹، ۴۲۴	شدت میدان مغناطیسی ۶۶
صفحه ورتیکال ۴۳۴، ۴۵۰	شعاع
صليب جنوبی ۷۰، ۸۸، ۸۹	انحنای عرضی ۴۲۳
صنعا (جهت قبله) ۱۷۹	انحنای نصف النهاری ۴۲۳
صورت فلکی ۳۴۱	زمین ۱۵۲، ۲۴۵
باربر ۸۷	ژئودتیک ۴۲۲
تنین ۸۱	شعرای یمانی (کاروان کش، شباهنگ) ۳۱۷
چنگک رومی (شلیاق) ۳۰۳، ۳۰۷	شفق ۳۱۴
حمال ۸۷	شلیاق (صورت فلکی) ۳۰۳، ۳۰۷
دب اصغر ۷۸، ۳۰۳	شکست نور ۳۰، ۳۳، ۳۴، ۹۳، ۹۸، ۱۰۵
دب اکبر ۷۶، ۳۰۳	۱۰۹
دجابه (ماکیان) ۳۰۳	تصحیح ۳۵۱
دور قطبی جنوبی ۸۸	متغیر ۳۵۴
دور قطبی شمال ۸۲	متوسط ۳۵۳
ذات الکرسی ۸۱	شکل زمین ۴۰۹، ۴۴۵
شاه تخته ۸۷	تاریخچه ۴۱۱
شلیاق (چنگک رومی) ۳۰۳، ۳۰۷	شکل زمین گون ۴۱۷، ۴۲۸، ۴۲۹
قنطورس ۸۸	شمال (جهت) ۵۲
قیفاووس ۸۱	شمالگان (مدار) ۷۳، ۲۲۷، ۲۶۳
کارینا ۸۷	شمال و جنوب
کلب اکبر (سگ بزرگ) ۳۱۷	جغرافیایی ۲۷، ۵۱، ۲۴۸
ماکیان (دجابه) ۳۰۳	حقیقی (واقعی) ۵۱، ۵۴، ۲۴۸
صور فلکی	مغناطیسی ۵۴
دور قطبی جنوبی ۸۸	شهابسنگ ۳۳۹
دور قطبی شمالی ۸۲	شیب افق ۲۴۶، ۳۵۴
صور ماه ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۵	تصحیح ۳۵۴
	شیخ بهایی ۲۱۰

- ستاره ۲۷۸
 قمر ۳۴۷
 عدد روسی ۵۸
 عرض
 زمین مرکزی ۳۵، ۴۲۲
 ژئودتیک ۳۵، ۳۷، ۴۲۱
 سماوی ۲۷۲
 کاهش یافته ۴۲۲، ۴۵۱
 کروی ۴۱۹
 کهکشانی ۲۷۴
 نجومی ۴۳۲
 نجومی آنی ۴۳۴
 نجومی ساده شده ۴۳۵
 نجومی مشاهد شده ۴۳۴
 عرض جغرافیایی ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۳۴، ۲۵۰
 تعیین ۲۳
 تعیین با وسایل ساده ۲۵
 تغییرات ۳۷
 فاصله یک درجه ۲۳
 عرض و طول سماوی ۲۷۲
 دستگاه مختصات ۲۶۵، ۲۷۲
 عطارد (تیر) ۲۸۵، ۳۱۶، ۳۲۸، ۳۲۹، ۳۳۹
 ۳۴۶
 عقرب (کژدم) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴
 عقربه مغناطیسی ۶۱، ۶۴
 علامت ظهر ۵۸، ۵۹، ۶۰
 علیا (مقارنه) ۲۸۵
 عناق ۷۷
- ط
 طرابوزان (جهت قبله) ۱۹۱
 طلوع خورشید (محاسبه) ۹۷
 طلوع دورگرد ۳۱۷
 طول
 ژئودتیک ۴۲۱
 سماوی ۲۷۳
 کروی ۴۱۹
 کهکشانی ۲۷۴
 طول جغرافیایی ۲۱، ۲۲، ۲۵۰
 تعیین ۴۰
 فاصله یک درجه ۲۳، ۴۷
- ظ
 ظاهری
 ظهر خورشیدی ۴۲
 ظهر
 خورشیدی (شمسی) ۴۲، ۵۵، ۵۷
 شرعی ۴۲، ۴۰۷
 تعیین ۵۵، ۵۷
 شمسی حقیقی ۴۲
 شمسی ظاهری ۴۲، ۴۰۷
 ظاهری محلی ۳۷۱، ۳۷۶
 علامت ۵۸، ۵۹، ۶۰
 نجومی ۳۶۶
 متوسط ۳۷۸
 متوسط محلی ۳۷۸
- ع
 عبور ۳۲۹، ۳۴۶
 از نصف النهار ۳۳
 زیرین ۳۳، ۲۷۸، ۳۴۶
 زیرین ۳۳، ۲۷۸، ۳۴۶
- غ
 غروب خورشید (محاسبه) ۹۷
- ف
 فازهای ماه (اهله قمر) ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۵

فاصله

زاویه ای ستاره ۲۸۴

زاویه ای قرص خورشید ۱۱۷، ۳۳۳، ۳۵۷

زاویه ای ماه ۲۸۵، ۳۳۳

زمانی ۳۶۲

سمت الرأس ۳۲، ۳۴، ۲۵۱، ۲۶۵، ۲۶۷

۲۶۸، ۲۷۵، ۲۷۸

قطبی ۳۲، ۳۴، ۲۵۴، ۲۶۹، ۲۷۵

قطبی ستاره قطبی ۷۹، ۱۰۹، ۳۰۸

نصف النهاری ۱۶۱

فجذ ۷۸

فرقدان (فرقدین) ۸۰

فشردگی

بیضوی ۴۱۰

زمین ۲۳، ۳۶، ۳۷، ۲۶۱، ۲۹۰

فصل ۲۹۱

فصلی (سال) ۳۱۸

فصول چهارگانه ۲۹۱

فلق ۱۰۹، ۳۱۴

ق

قائم

انحراف ۴۴۹

ژئوتیدی ۴۳۵، ۴۴۹

ژئودتیک ۴۲۱، ۴۴۹

کروی ۴۱۸، ۴۴۶

نجومی ۴۳۱

قائم الزاویه

مثلث کروی ۱۵۱، ۲۸۰، ۲۸۲

قاعده شاخص ساعت خورشیدی ۱۱۲

قاعده نپر ۱۵۱

قانون کولومب (کولن) ۶۶

قائد ۷۷

قبله ۱۶۵

قبله نما (ساختمان) ۲۱۲

قبله نما (محاسبات) ۲۱۱

قبله نمای رزم آرا ۲۰۸

قبله یابی ۱۶۵

قرارگیری ستاره در افق ۲۸۴

قرارگیری ستاره در خارج نصف النهار ۲۸۴

قراولان ۷۹

قراولان نیمکره جنوبی ۸۸

قرون وسطی ۵۸

قطب

جنوب دایرة البروج ۲۵۶، ۲۷۳

جنوب ژئودتیک ۴۲۱

جنوب سماوی ۸۷، ۲۴۴، ۲۶۴

جنوب کروی ۴۱۸

جنوب مغناطیسی ۶۲

جنوب نجومی ۴۳۳

سرگردانی ۴۰

شمال دایرة البروج ۲۵۶، ۲۷۳

شمال ژئودتیک ۴۲۱

شمال سماوی ۸۷، ۲۴۴، ۲۶۴

شمال کروی ۴۱۸

شمال مغناطیسی ۶۲

شمال نجومی ۴۳۳

قطب های

اکلیپتیک ۲۵۶، ۲۷۳، ۳۰۲

جغرافیایی ۵۱، ۶۴، ۲۲۳، ۲۴۳

زمین ۲۱، ۶۴، ۲۴۲

ژئودتیک ۴۲۱

سماوی ۲۳، ۴۸، ۱۰۵، ۲۴۴

کروی ۴۱۸

مغناطیسی ۶۲، ۶۴، ۶۵، ۲۱۱

استوای ۴۱۸	قطب نما ۶۱
افق ۴۱۹	قطبی
سمت ۴۱۹	ستاره ۳۰۷، ۳۰۳، ۳۲
صفحات قائم ۴۱۹	ستارگان حول (دور) ۳۳
طول ۴۱۹	فاصله ۳۲، ۳۴، ۲۶۹، ۲۵۴، ۲۷۵
عرض ۴۱۹	قطبیت ۶۲
قائم ۴۱۸، ۴۴۶	قطر
قطب جنوب ۴۱۸	اطول بیضی ۲۸۹
قطب شمال ۴۱۸	اقصر بیضی ۲۸۹
قطبهای ۴۱۸	خورشید ۲۸۵
مدار ۴۱۹	زاویه ای خورشید ۱۱۷، ۳۳۳
مقاطع قائم ۴۱۹	زاویه ای خورشید در متوسط فاصله از زمین
نصف النهار ۴۱۸	۳۵۷
نصف النهارات ۴۱۸	زاویه ای ماه ۲۸۵، ۳۳۳
کریستف کلمب ۶۲	ماه ۳۳۶
کژدم (عقرب) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴	زاویه ای متوسط خورشید ۳۳۳
کسوف (خورشید گرفتگی) ۳۲۸، ۳۳۲	قنطورس (صورت فلکی) ۸۸
کلب اکبر (سگ بزرگ) ۳۱۷	قوس (کمان) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴
کمان (قوس) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴	قهقراپی
کعبه ۱۶۶	حرکت... مدار ماه ۳۰۶
مختصات جغرافیایی ۱۶۷	قیفاووس ۸۱
کوادرانت ۳۴۷	ک
کهکشان ۳۴۵	کاتالگ ستارگان ۲۷۴
بیضوی شکل ۳۴۵	کاروان کش (شعرای یمانی، شباهنگ) ۳۱۷
راه شیری ۳۳۷، ۳۴۵	کارینا ۸۷
مارپیچی ۳۴۵	کاتنانت ۳۴۷
نامنظم ۳۴۵	کرونومتر (زمان سنج) ۴۸، ۳۶۲
کهکشانی	کرونومتر خورشیدی ۱۴۱
دستگاه مختصات ۲۶۵، ۲۷۴	کره ۴۰۹
عرض ۲۷۴	جغرافیایی ۱۹۸
طول ۲۷۴	سماوی ۲۳۹، ۲۶۳، ۲۶۴
منظومه ۲۷۴	شبه (کره پهن شده) ۳۷، ۲۶۰، ۴۱۰
کیوان (زحل) ۳۱۶، ۳۳۹	کروی

گ

- گاو (ثور) (بُرج) ۱۳۷، ۳۴۲
 گاواهن ۷۸
 گاوس ۶۶
 گذر زبرین و زبرین ۳۳، ۲۷۸، ۳۴۶
 گذر ستاره ۲۷۸
 گرانیگاه زمین ۴۲۶
 گرفت (گرفتگی) ۳۲۸
 گرفتگی
 خورشید ۲۸۷
 زمین ۳۳۲
 ماه ۲۸۷
 گرگوری (تقویم) ۳۱۶، ۳۱۸، ۳۲۳
 گره ۳۱۷، ۳۳۰
 حرکت قهقراپی ۳۳۱
 گره‌های ماه ۳۳۰

ل

- لامبرت (ساعت خورشیدی) ۱۲۲، ۱۳۰
 لبه شاخص ساعت خورشیدی ۱۱۲
 لرزش چاندلر ۴۰

م

- ماکیان (صورت فلکی) ۳۰۳
 مانیل (جهت قبله) ۱۸۰
 ماه ۳۱۶

آنومالی‌تیک ۳۱۷

اوج ۳۳۳

بُرجی ۳۱۸

تمایل مدار ۳۳۰

تقویمی ۳۱۶

حالات ۳۲۵

حرکت دورانی ۳۳۳

حضيض ۳۳۳

شب چهارده ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۵

عرفی ۳۱۶

فازهای ۳۲۵

فاصله زاویه‌ای ۲۸۵

فاصله زمین از ۳۳۳

قطر زاویه‌ای ۳۳۳

قمری ۳۱۶، ۳۲۰

گرفتگی ۲۸۷، ۳۲۸، ۳۳۰، ۳۳۵

گرفتگی جزئی ۳۳۶

گرفتگی کلی ۳۳۶

گره‌ای (نادیکال) ۳۱۷

محاق ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۵

نجومی ۳۱۷

نو ۹۰، ۳۲۰، ۳۲۱، ۳۲۵

هلالی ۳۱۰، ۳۱۶

ماهی (حوت) (بُرج) ۱۳۸، ۳۰۷، ۳۴۴

مبداء زمانی ۳۶۲

متمم

ارتفاع ۲۵۱، ۲۶۵، ۲۷۵

عرض ۲۷۵

عرض جغرافیایی ۳۴، ۱۴۳، ۲۷۸

میل ۲۵۴، ۲۶۹، ۲۷۵

متونیک (دوره) ۳۲۱

مثلث

کروی ۱۴۶، ۱۴۹، ۴۱۹

خواص ۱۴۷

فرمولهای ۱۴۹

قائم الزاویه ۱۵۱

نجومی ۳۴، ۱۰۹، ۲۷۵

مثلثات کروی ۱۴۴

مجمع الجزایر تواموتو ۲۲۳

محور

مدار	استوایی ۴۱۰
خبینوگان ۷۵، ۲۲۸، ۲۶۳، ۳۶۰	اطول ۲۶۱
رأسُ الجَدی ۷۴، ۲۶۳، ۲۹۳	اقصر ۲۶۱
رأس السرطان ۷۲، ۲۶۳، ۲۹۱	جغرافیایی ۲۴۳
ژئودتیک ۴۲۱	چرخشی آنی ۴۳۱، ۴۳۵
شمالگان ۷۳، ۲۲۸، ۲۶۳، ۳۶۰	چرخش زمین ۲۱، ۲۲۳، ۲۴۲
قطبی جنوب ۷۵	چرخشی (مبنای) میانگین ۴۳۵
قطبی شمال ۷۳	سماوی ۲۴۴
کروی ۴۱۹	عالم ۲۴۴
نجومی ۴۳۳	قطبی ۴۱۰
مدارات	مختص
ژئودتیک ۴۲۱	عرضی ۲۶۴
میل ۲۶۸	طولی ۲۶۴
هم ارتفاع ۲۶۵	مختصات
مراق ۷۶	جغرافیایی ۲۱
مرکاتور (دستگاه تصویر استوانه‌ای) ۱۹۴	جغرافیایی کعبه (مگه) ۱۶۷، ۴۳۸
مرکز ثقل زمین ۱۴۵	دستگاه ۲۱
مرکز ساعت خورشیدی ۱۱۲	دستگاه... استوایی (معدلی) مستقل ۲۶۵،
مریخ (بهرام) ۳۱۶، ۳۳۹	۲۷۰
مشری (برجیس) ۳۱۶، ۳۳۹	دستگاه... استوایی (معدلی) وابسته ۲۶۵،
مشرق (جهت) ۵۲	۲۷۰
مشرق و مغرب واقعی ۵۲، ۲۴۸	دستگاه... افقی ۲۶۵
معادل زمان (تعدیل زمان) ۴۲، ۳۸۶	دستگاه... عرض و طول سماوی ۲۶۵،
جدول ۳۹۶، ۳۹۷	۲۷۲
معتدل جنوبی (منطقه) ۲۶۳	دستگاه... کهکشانی ۲۶۵، ۲۷۴
معتدل شمالی (منطقه) ۲۶۳، ۳۶۰	دکارتی ۱۷۵
معدلی (استوایی) مستقل (دستگاه مختصات)	زمین مرکزی ۴۲۲، ۴۲۶
۲۶۵، ۲۶۸	ژئودتیک ۴۱۷، ۴۲۱، ۴۲۶
معدلی (استوایی) وابسته (دستگاه مختصات)	ژئودتیک زمین مرکزی ۴۲۶
۲۶۵، ۲۷۰	ژئودتیک مطلق ۴۲۶
مغرب (جهت) ۵۲	قطب‌های مغناطیسی ۵۴، ۶۲
مغرز ۷۶	کروی ۲۶۳، ۴۱۷
مغناطیسی	نجومی ۲۶۳، ۴۱۷، ۴۲۸

حاره ۲۶۳

زمانی استاندارد ۴۳، ۴۰۱

کسوف کامل ۳۳۳

معتدله جنوبی ۲۶۳

معتدله شمالی ۲۶۳، ۳۶۰

منجمده جنوبی ۲۶۳، ۳۶۰

منجمده شمالی ۲۶۳، ۳۶۰

منطقه البروج ۱۱۹، ۱۳۸، ۳۳۹، ۳۴۲

منظومه کهکشانی ۲۷۴

میزان (ترازو) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴

میل ۲۵۲، ۲۶۸، ۲۷۰، ۲۷۲

خورشید ۲۵، ۲۶، ۱۰۰، ۱۳۸، ۱۹۹

۲۲۵، ۲۶۹، ۲۹۷

جدول ۳۰۰، ۳۰۱

مغناطیسی ۶۵، ۲۱۱

میل و بعد

دستگاه مختصات ۲۶۵، ۲۶۸

میل و زاویه ساعتی

دستگاه مختصات ۲۶۵، ۲۷۰

ن

نادیکال (گره ای)

ماه ۳۱۷

ناهید (زهره) ۳۱۶، ۳۲۸، ۳۲۹، ۳۳۹، ۳۴۶

نپتون ۳۳۹

نیر

قاعده ۱۵۱

نجوم عملی ۲۳۹

نجومی

افق ۳۴۲، ۴۳۴

تصحیحات ۳۳، ۳۴۸، ۴۴۵

تقویم ۲۹۶

انحراف (میل) ۶۵، ۲۱۱

خطوط نیروی ۶۲

شدت میدان ۶۶

شمال و جنوب ۵۴، ۶۲

عقربه ۶۱، ۶۴

قطب جنوب ۶۲

قطب شمال ۶۲

قطبهای ۵۴، ۶۲

مختصات قطبهای ۶۶

میدان ۶۲

میل (انحراف) ۶۵، ۲۱۱

نقشه هم میل ۶۵

مقابله ۲۸۵، ۳۲۷، ۳۴۰

مقارنه ۲۸۵، ۳۲۶، ۳۳۲، ۳۳۹

زیرین ۳۳۹

زیرین ۳۳۹

سفلی ۲۸۵

علیا ۲۸۵

مقاطع قائم

ژئودتیک ۴۲۲، ۴۲۵

کروی ۴۱۹

مقطع قائم

ژئودتیک ۴۲۲، ۴۲۵، ۴۴۸

کروی ۴۱۹، ۴۴۷

مکه

سمت الرأس ۲۰۱، ۴۳۷

سمت القدم ۲۰۸، ۴۴۲

مختصات جغرافیایی ۱۶۷، ۴۳۸

مناطق زمین ۲۶۱

منجمده جنوبی (منطقه) ۲۶۳، ۳۶۰

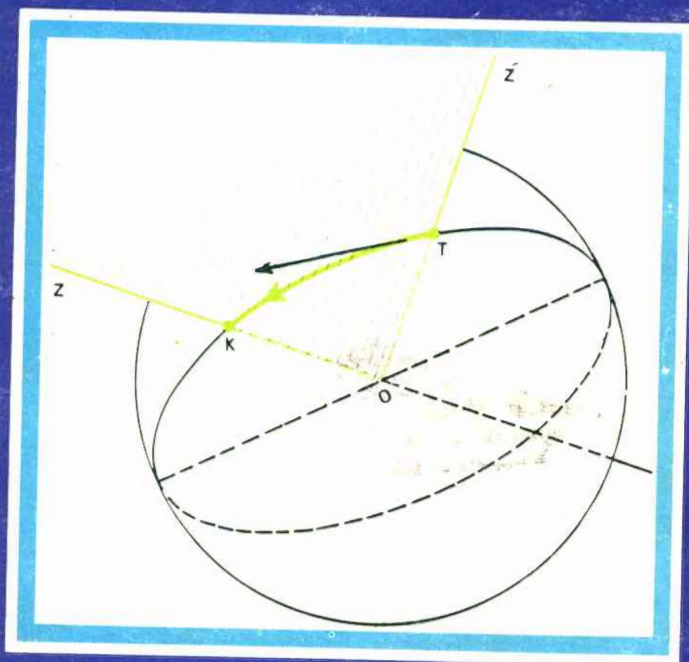
منجمده شمالی (منطقه) ۲۶۳، ۳۶۰

منحنی مسطح ۴۲۵

منطقه

ثانیة ۳۶۵	نجومی ۴۳۳
جدول ۳۲، ۲۹۶	نجومی محلی ۵۱
دستگاههای مختصات ۲۶۳	نصف النهارات
دقیقه ۳۶۵	ژئودتیک ۴۲۱
روز ۴۸، ۳۶۴	کروی ۴۱۸
ساعت ۳۶۵	نقاط اعتدال ۲۵۶
سال ۳۱۸	نقاط انقلاب ۲۵۸
سطح مبنای ۴۳۱	نقشه همپیل مغناطیسی ۶۵
سمت ۴۳۴	نقشه مغناطیسی جهان ۶۵
صفحات قائم ۴۳۴	نقطه
طول ۴۳۲	اعتدال بهاری ۴۸، ۱۱۹، ۱۲۴، ۱۳۲،
ظهر ۳۶۶	۱۳۴، ۲۰۰، ۲۵۷
عرض ۴۳۲	اعتدال پاییزی ۱۱۹، ۱۲۴، ۱۳۲، ۱۳۴،
قائم ۴۳۱	۲۵۸، ۲۰۰
قطب جنوب ۴۳۳	انقلاب تابستانی ۱۱۹، ۱۲۴، ۱۳۲،
قطب شمال ۴۳۳	۱۳۴، ۲۰۰، ۲۵۸
قطبهای ۴۳۳	انقلاب زمستانی ۱۲۴، ۱۳۲، ۱۳۴،
ماه ۳۱۷	۲۵۸، ۲۰۰
مدار ۴۳۳	نقطه مقابل (مقاطر) مکه ۲۲۲
مختصات ۴۲۸، ۴۱۷، ۲۶۳	نیم سایه ۳۲۸
نصف النهار ۴۳۳، ۲۱	نیم قطر ۳۵۶
واحد ۲۸۶	خورشید ۳۵۷، ۳۵۸
وقت ۴۷، ۳۶۴	تصحیح ۳۵۶
نسر واقع ۳۰۳، ۳۰۷	نیمه شب ظاهری ۳۸۷
نصف النهار	نیمه شب متوسط محلی ۳۷۸
استاندارد ۴۲، ۴۰۲	و
جغرافیایی ۵۱	واحد نجومی ۲۸۶
خط ۲۱، ۲۴۸	ورثیکال ۴۳۴، ۴۵۰
ساوی ۵۱	ورثیه ۱۴۲
قراگیری ستاره در خارج ۲۸۴	وسیله رسم بیضی ۱۳۰
کروی ۴۱۸، ۴۱۹	وضعیت دورترین فاصله ستاره ۱۰۶، ۲۸۰
کروی مبدأ ۴۱۹	وضعیت زمین مرکزی ۴۲۶
مبداء ۲۲، ۴۱، ۲۵۰	

شمسی ظاهری محلی ۴۰۵، ۳۷۴	وضعیت مطلق ۴۲۶
شمسی متوسط ۳۸۶، ۳۶۳، ۱۴۱	وضعیت نسبی ۴۲۶
ظاهری محلی ۴۰۵، ۴۲	وضعیت های ظاهری خورشید در فصول مختلف
متوسط ۳۷۷	۲۹۴
متوسط استاندارد ۴۰۶	وضعیت یک ستاره در سطح نصف النهار اصلی
متوسط گرینویچ ۴۹	۲۸۲
محلی ۳۸۰، ۴۲	وضعیت های ماه ۳۲۵، ۳۱۶، ۹۰
نجومی ۳۶۴، ۴۷	وقت
نجومی محلی ۳۶۸، ۳۶۶	استاندارد ۱۰۳، ۹۸، ۹۴، ۴۲، ۴۱
ه	۴۰۵، ۴۰۱
هانوئی (جهت قبله) ۱۹۲	تقویمی (جدول نجومی) ۳۶۳، ۳۱۸
هفت برادران ۷۸	۳۸۱
هفتورنگ ۷۸	جدول نجومی (تقویمی) ۳۶۳، ۳۱۸
هفتورنگ کهن ۸۰	۴۰۴، ۳۸۱
هلال ماه نو ۳۲۶، ۹۰	جهانی ۴۰۴
هم ارتفاع	جهانی هماهنگ شده ۴۰۴
مدارات ۲۶۵	شمسی حقیقی ۱۱۵، ۱۰۳، ۹۷، ۴۲
	۱۴۱، ۱۳۲
	شمسی ظاهری (حقیقی) ۳۸۶، ۳۷۰



١٥٠٠